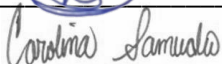


Plan de Monitoreo de Estabilidad de Suelos	Revisión	
Documento No.	#	Fecha
	1	24 de marzo de 2025

Cliente: Minera Panamá S.A.

Proyecto: Cobre Panamá

	Firma	Fecha
Elaborado por: Kewalpersad Sattan (KS)		___ 1 diciembre de 2023 ___
Traducido por: Carolina Samudio (CS)		___ 24 de marzo de 2025 ___
Revisado por: Korhan Tasoren (KT)		___ 20.06.2025 ___
Aprobado por: Italo Farje (IF)		___ 07.07.2025 ___

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	6
1.1	Definiciones.....	6
1.2	Abreviaturas.....	7
1.3	Valores Fundamentales y Políticas de Monitoreo de Estabilidad de Suelos de FQML y minas subsidiarias.....	8
1.4	Responsabilidades.....	9
1.4.1	Gerente General.....	10
1.4.2	Gerente de Operaciones de Mina.....	11
1.4.3	Gerente de Servicios Técnicos de Mina	11
1.4.4	Superintendente de Geotecnia.....	12
1.4.5	Ingeniero Geotécnico Senior e Ingeniero Geotécnico Junior	12
1.4.6	Superintendente de Operaciones de Mina.....	13
1.4.7	Supervisores de Operaciones de Mina	13
1.5	Control de Documentación	14
2.	CONFIGURACIÓN DE LA MINA	14
2.1	Localización del Sitio	15
2.2	Marco Geológico General	15
2.2.1	Tipos de Depósito	17
2.2.1.1.	Mineralización Supergénica	17
2.2.1.2.	Mineralización Hipogénica.....	17
2.2.2	Depósitos y Dominios Mineralizados de Cobre Panamá	18
2.2.2.1.	Botija	18
2.2.2.2	Colina	19
2.2.2.3.	Valle Grande.....	19
3.	MODELO ESTRUCTURAL.....	20
3.1.	Interpretación del Sistema de Fallas 3D del Tajo Botija	23
3.2.	Interpretación del Sistema de Fallas 3D del Tajo Colina.....	24
4.	DATOS GEOTÉCNICOS	26
4.1	Botija	26
4.2	Colina	30
4.3	Valle Grande.....	31

5.	PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO.....	32
5.1	Análisis Estructural.....	33
5.2	Régimen de Estrés Regional e In- Situ.....	34
5.3	Sismicidad	34
5.4	Limitaciones e Incertidumbre	35
6.	DISEÑO GEOTÉCNICO.....	36
6.2	Metodología de Minado	36
6.3	Análisis de Estabilidad y Evaluación Geotécnica.....	36
6.4	Parámetros de Diseño de Perforación y Voladura.....	37
6.5	Diseño de Acopios de Material Estéril	40
6.6	Hidrogeología y Aguas Superficiales	42
6.7	Diseño de Soporte de Terreno	44
6.6	Riesgo Clave o Crítico Identificado como Parte del Diseño	44
6.7	Enfoque de Riesgo a Corto y Largo Plazo.....	44
6.8	Proceso de Aprobación	45
7.	IMPLEMENTACIÓN Y GESTIÓN DE LAS CONDICIONES DEL TERRENO.....	45
7.1	Procedimientos Operativos Estándar Geotécnicos	45
7.1.1	Programa de Perfilado y Liberación de Patrones.....	50
7.1.2	Procedimientos de Instalación de Soporte de Terreno	50
7.1.3	Programas de Mantenimiento de Control (Rehabilitaciones)	50
7.1.4	Plan de Respuesta a Acciones Desencadenantes (TARP).....	51
7.1.5	Plan de Respuesta a Emergencias (ERP)	53
7.2	Verificación	54
7.2.1	Inspección y Monitoreo	54
7.2.1.1	Validación y Optimización del Diseño de Pendientes.....	54
7.2.1.2	Monitoreo de Taludes.....	55
7.2.1.3	Monitoreo y Optimización de Voladuras	60
7.2.1.4	Verificación de las Paredes del Tajo.....	61
8.	COMUNICACIÓN Y CAPACITACIÓN	61
8.1.	Mapa de Riesgos Geotécnicos.	62
8.2	Eventos Geotécnicos Inusuales.....	62
8.3	Capacitación de la Fuerza Laboral.....	63
9.	APROBACIÓN	64

10. REFERENCIAS.....	65
----------------------	----

IMÁGENES

Figura 1. Localización del proyecto Cobre Panamá. EsIA CAT III.	15
Figura 2. Mapa Geológico Regional Simplificado. MPSA.	16
Figura 3. Sección Geológica Sur-Norte, de Botija, corte de perfil en la coordenada 538 140m Norte. MPSA.....	18
Figura 4. Sección sur a Norte, a lo largo de la coordenada 533 800mN, del depósito de Colina. MPSA. ..	19
Figura 5. Sección oblicua, orientada al Noroeste, del yacimiento de Valle Grande. MPSA.	20
Figura 6. Desplazamiento de falla de dique máfico. Ingeniera Geotécnica, como representación de escala. El desplazamiento y rotación, es complicado por la presencia de diversas fallas, pero las observaciones más claras fueron subverticales. Indicando una posible deformación extensional tardía. SRK Consultores.	22
Figura 7. Interpretación 3D del sistema de fallas en el área de Botija. Colores elegidos, con el propósito de maximizar la visibilidad de la imagen. SRK Consultores.	23
Figura 8. Interpretación del sistema de fallas del Tajo Colina. El área de estudio muestra fallas con inclinación dominante de oeste a oeste-suroeste. SRK Consultores.....	25
Figura 9. Actualización de los sectores geotécnicos del Tajo Botija, considerando la litología y fallas mayores. MPSA.....	27
Figura 10. Campaña de perforación geotécnica de 2021 en rojo. Las líneas verdes indican la localización de los pozos proyectados de la campaña de perforación geotécnica 2023. MPSA.....	28
Figura 11. Distribución promedio del RMR76, para los sectores Sur y Este del Tajo Botija. MPSA.	29
Figura 12. Diseño final de Colina, en color gris. Diseño de Fase 1, en color purpura. Diseño de cajón de las trituradoras, en la sección sureste del tajo, en color verde. MPSA.	30
Figura 13. Estereograma de juntas, recopiladas en el tajo Botija. MPSA.	33
Figura 14. Parámetros de diseño de voladura de producción combinada. MPSA.....	39
Figura 15. Diseño de los acopios de material estéril, de los tajos Botija y Colina. MPSA.....	40
Figura 16. Evaluación de estabilidad y riesgos, del acopio de material estéril de Colina. MPSA.	42
Figura 17. Reporte mensual de piezómetros de Cobre Panamá, del mes de abril de 2025. MPSA.	43
Figura 18. Campaña de perforación de pozos de despresurización, realizada entre 2022 y 2023, en secciones críticas del tajo Botija. MPSA.....	43

Figura 19. Procedimiento a seguir, en caso de incidente geotécnico. MPSA.....	46
Figura 20. Procedimiento a seguir, en caso de riesgo geotécnico. MPSA.	47
Figura 21. Procedimiento a seguir, para realizar inspecciones geotécnicas. MPSA.	48
Figura 22. Procedimiento a seguir, para mapeo geotécnico. MPSA.....	49
Figura 23. Mapa de puntos de encuentro, en caso de evacuación. MPSA.....	54
Figura 24. Cobertura del sistema InSAR, con escala de desplazamiento absoluto de 40cm/año. MPSA..	56
Figura 25. Sistema Geomos instalado en el tajo Botija, incluyendo prismas, estaciones totales y puntos de control. MPSA.	57
Figura 26. Localización y cobertura del radar de monitoreo geotécnico. MPSA.....	58
Figura 27. Extensómetros de estaca, ubicados en la pared sureste del tajo Botija. MPSA.	59
Figura 28. Mapa del Riesgos del Tajo Botija. MPSA.....	62

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. SRK Consultores. Resumen de deformaciones históricas de Cobre Panamá.....	24
Tabla 2. Parámetros de diseño de taludes del Tajo Botija, por sector. MPSA.....	27
Tabla 3. Esfuerzo cortante promedio intacto, según tipo de roca. MPSA.	29
Tabla 4. Esfuerzo cortante promedio de fractura, de los diferentes tipos de roca. MPSA.	29
Tabla 5. Parámetros de diseño de taludes, por sector, para el Tajo Colina. MPSA.	31
Tabla 6. Parámetros de diseño de taludes, para el Tajo Valle Grande. MPSA.....	32
Tabla 7. Valores promedio, de la data registrada de la Campaña de Perforación Geotécnica de 2021. ...	33
Tabla 8. PGA y aceleraciones máximas efectivas en sitios seleccionados de Panamá.	35
Tabla 9. Parámetros para diseño de pre-cortes de Cobre Panamá.	38
Tabla 10. Parámetros de diseño de acopios de material estéril, para operación y rehabilitación. MPSA.	41
Tabla 11. Umbral de desplazamientos, del radar de monitoreo geotécnico del Tajo Botija y niveles de alerta. MPSA.	53

1. INTRODUCCIÓN

Este documento presenta el Plan de Monitoreo de Estabilidad de Suelo, del proyecto Cobre Panamá, operado por la empresa Minera Panamá S.A., subsidiaria de First Quantum Minerals Ltd (FQML). Presentaremos el respaldo de FQML a las Políticas de Salud y Seguridad, junto con el apoyo de la gerencia, a las buenas prácticas del monitoreo de estabilidad de suelos.

La estructura y alcance del Plan de Monitoreo de Estabilidad de Suelo, formaliza y consolida procesos de control de terreno, empleados en Cobre Panamá durante la fase de operaciones mineras y en la fase actual de Preservación y Gestión Segura. El documento será utilizado en conjunto, con otros documentos controlados, relacionados con el monitoreo de estabilidad de suelos, en operaciones mineras.

La intención del Plan de Monitoreo de Estabilidad de Suelo, es describir cómo Cobre Panamá planifica y opera la mina, previniendo lesiones del personal, protegiendo los equipos de eventos de inestabilidad y caída de rocas. Es importante entender, que la ejecución efectiva del Plan de Monitoreo de Estabilidad de Suelo, añade valor en términos de eficiencia y rendimiento del negocio.

El Plan de Monitoreo de Estabilidad de Suelo, se diseña con el fin de cumplir y seguir las guías internacionales de la gestión de control de terrenos.

El alcance del plan, incluye los siguientes puntos:

- Definir roles, responsabilidades y calificaciones del personal involucrado en el monitoreo de estabilidad de suelo.
- Proporcionar al personal del sitio un enfoque sistemático, para planificar, diseñar, instalar y revisar todos aspectos asociados con el monitoreo de estabilidad de suelos.
- Mejorar el proceso de planificación, diseño y toma de decisiones, asociados al monitoreo de estabilidad de suelos, para la operación y preservación del tajo a cielo abierto y acopios de material estéril.
- Asegurar la utilización de un enfoque común, al desarrollar diseños de control de terreno.
- Establecer parámetros, para ser aplicados al diseño de excavaciones de tajo a cielo abierto.
- Proveer a Cobre Panamá, una operación y fase de preservación, con reglamentos y guías, para el control de inestabilidades de taludes y riesgos de caídas de roca.

1.1 Definiciones

Monitoreo de Estabilidad de Suelo: supervisión continua y sistemática, del tajo a cielo abierto y de las instalaciones de acopio de material estéril, con el objetivo de identificar condiciones que puedan generar en eventos de inestabilidades y caída de roca.

Control de Terreno: metodología aplicada a eliminar y reducir, en la medida de lo posible, el riesgo asociado con desplazamiento de terreno, en tajo a cielo abierto o en minería subterránea.

Infraestructura Geotécnica: incluye excavaciones superficiales o subterráneas, diques, acopios de material estéril, acopios de material mineralizado, relacionados a operaciones mineras.

Ingeniería Geotécnica: aplicación de ingeniería geológica, hidrogeología, mecánica de suelos, mecánica de rocas y sismología minera, a la solución práctica de inestabilidades de terreno.

Sistema de Gestión de Salud y Seguridad: procedimientos, procesos y medidas, diseñados para ser implementados por la fuerza laboral, buscando mejoras en cuanto a salud ocupacional y seguridad industrial.

Personal competente: trabajador designado por la gerencia, que ha demostrado conocimiento, experiencia y habilidades en todas las áreas y disciplinas, relevantes a las condiciones específicas del terreno en la mina. La demostración de competencias, debe realizarse mediante títulos, acreditaciones o membrecías.

Peligro: conjunto de circunstancias, que podrían generar consecuencias perjudiciales. La probabilidad de que un evento perjudicial ocurra, se conoce como riesgo asociado.

Riesgo: probabilidad de que ocurra un evento con consecuencias perjudiciales.

Manejo de Riesgo: procedimientos aplicados en un proyecto de ingeniería geotécnica, con el objetivo de mantener un bajo nivel de riesgo.

Análisis de riesgo: proceso de identificación y evaluación de riesgos.

Identificación de riesgo: proceso de encontrar, reconocer y describir riesgos.

Evaluación de riesgo: proceso de comparar los resultados de los análisis de criterios de riesgo, determinando si la magnitud del riesgo es aceptable o tolerable.

Evento geotécnico inusual: observación en la que se indican condiciones de terreno, fuera de rangos habituales, que pueden resultar en situaciones de peligro.

Libro de registro o bitácora: documento auditable, con información histórica, relacionada a problemas de estabilidad de suelo y respuestas asociadas.

No conformidad: incumplimiento de un requisito, norma, procedimiento o especificación.

1.2 Abreviaturas

BFA: Ángulo de Cara del Banco.

CP: Cobre Panamá.

DAC: Criterios de Aceptación de Diseño

DMS: Sistema de Manejo de Datos.

EPP: equipo de protección personal.

ERP: Plan de Respuesta de Emergencia.

ESIA: Estudio de Impacto Ambiental.

FOS: Factor de Seguridad

FQML: First Quantum Minerals Its.

ISA: Ángulo Entre Pilas

IRA: Ángulo Entre Rampas.

PGS: Preservación y Gestión Segura.

PMES: Plan de Monitoreo de Estabilidad de Suelos.

PMSM: Plan de Manejo de Seguridad de Mina.

PoF: Probabilidad de Falla

QAQC: Aseguramiento y Control de Calidad.

RQD: Designación de Calidad de Roca.

SOP: Procedimiento Operativo Estándar.

SSO: Seguridad y Salud Ocupacional.

SST: Solidos Suspendidos Totales.

TRAP: Plan de Respuesta a Acciones Desencadenantes

UCS: Resistencia a la Compresión No Confinada.

1.3 Valores Fundamentales y Políticas de Monitoreo de Estabilidad de Suelos de FQML y minas subsidiarias

FQML está comprometida con:

- Proveer un lugar de trabajo seguro y saludable para todos.
- Gestionar las condiciones de terreno, en minas a cielo abierto y subterráneas, con el objetivo de mantener un entorno de trabajo seguro.
- Establecer un Plan de Manejo, para gestionar de manera adecuada, los riesgos asociados a las actividades de excavación y acarreo de rocas y suelos.

Cada sitio, deberá contar con una base de datos robusta acerca de su macizo rocoso, modelos geotécnicos y sistemas de evaluación del desempeño de los taludes, para el Monitoreo de Estabilidad de Suelos.

Los desplazamientos de terrenos, resultados de un control de terreno deficiente o inadecuado, puede provocar daños a la propiedad, lesiones graves, e incluso, la muerte de trabajadores, como consecuencia de:

- Desplazamientos de terreno no identificados y no controlados (caída de roca, falla de bancos, expulsión de roca).
- Caída de material, desde altura considerable (derrumbe, desprendimiento de cuña).
- Atrapamiento físico. Por ejemplo, falla de terreno sobre camino de acceso.

Las consecuencias de un evento de desplazamiento no controlado, afectan directamente:

- Infraestructuras Geotécnicas dentro de la operación minera (excavaciones subterráneas, paredes del tajo, plataformas de acopio de material estéril, instalación de manejo de relaves, acopios de material mineralizado, fundaciones, estructuras de manejo y almacenamiento de agua.
- Otras infraestructuras e instalaciones importantes, fuera de la operación minera, por ejemplo, rutas de transporte público, tuberías, sistemas de drenaje superficial.
- Preocupaciones acerca de seguridad y baja en la moral del equipo.
- Cumplimiento de los compromisos adquiridos en el Estudio de Impacto Ambiental aprobado.
- Relación con las partes interesadas y comunidades cercanas al proyecto.
- Reputación de la empresa.
- Economía del proyecto.

Es primordial, desarrollar controles para manejar efectivamente los peligros geotécnicos potenciales y mantener la sostenibilidad del negocio.

1.4 Responsabilidades

En FQML, la Salud Ocupacional y Seguridad, es responsabilidad de todos. Se apoya a los colaboradores para hacerse cargo de sus áreas, mejorar sus habilidades de comunicación y control de calidad, para asegurar un ambiente de trabajo productivo y seguro. La gerencia, es responsable de definir y mantener actualizada la línea de mando, colocando los detalles de los roles laborales, responsabilidades de cada posición y los protocolos de comunicación.

Debido a la complejidad de los trabajos geotécnicos en minería, es responsabilidad de la gerencia, designar personal competente, que garantice el cumplimiento de tareas asignadas y el desarrollo de procesos para las mejores prácticas en la operación.

Los roles y responsabilidades, asignados al personal de mina por la gerencia, dependerán de sus capacidades demostradas y experiencia.

El personal competente designado (por ejemplo, ingenieros de mina e ingenieros geotécnicos), aplican las estrategias de monitoreo de estabilidad de suelos, mediante diseños seguros y el desarrollo de planes para limitar los efectos potenciales de los riesgos de inestabilidad de terreno identificados.

Las responsabilidades del personal del Departamento de Geotecnia, incluyen:

- Desarrollar y mantener el modelo geotécnico de la mina.
- Desarrollar y mantener el PMES de la mina.
- Proveer información geotécnica, en los procesos de diseño, planificación e implementación.
- Verificar que las medidas de control de terreno, cumplan con las especificaciones y criterios de diseño.
- Auditar, revisar y actualizar, las estrategias de monitoreo de estabilidad de terreno.
- Entrenar al personal que desempeña roles específicos de control de terreno.
- Recomendar cambios, cuando se requieran mejoras en la gestión de monitoreo de estabilidad de terreno.

A nivel corporativo, FQML, designará una Comisión de Revisión Geotécnica, para evaluar si las estrategias implementadas de monitoreo de estabilidad de suelos, se ajustan a los criterios de aceptación de riesgos de la compañía. Esta comisión, estará conformada por expertos internacionales, de empresas de consultoría geotécnica.

La evaluación se realiza, mediante la revisión de los siguientes puntos:

- Identificación de riesgos.
- Evaluación de estrategias geotécnicas definidas.
- Evaluación de datos geotécnicos suministrados para la generación de diseños y planificaciones.
- Medidas de control implementadas.
- Revisión del PMES.

En Fase de Producción, la evaluación se debe llevar a cabo cada dos años, por el equipo corporativo de FQML. Esta frecuencia puede variar, en caso de que ocurran cambios significativos durante este periodo.

Las condiciones del terreno y sus peligros asociados, cambian con el tiempo. Los sistemas de trabajo, equipos, diseños y metodologías de minado, pueden presentar variaciones durante la vida útil de la mina.

Es responsabilidad de la gerencia, definir e implementar procesos eficaces de gestión de cambio, cuando se introduzcan variaciones significativas. La gestión de cambio, debe incluir acercamiento al personal afectado, capacitación continua y reevaluación de competencias.

1.4.1 Gerente General

Es responsabilidad del Gerente General:

- Garantizar la generación del Plan de Monitoreo de Estabilidad de Suelos (PMES), como parte del sistema de manejo de riesgo de la mina, desarrollado en cumplimiento con las normas y regulaciones de control de terrenos.

- Delegar la responsabilidad del desarrollo, implementación y actualización del PMES, al personal competente.
- Facilitar los recursos para cumplir con los requisitos y compromisos asumidos en el PMES.
- Reportar eventos significativos, según los reglamentos de FQML.

1.4.2 Gerente de Operaciones de Mina

Es responsabilidad del Gerente de Operaciones de Mina:

- Gestionar las prácticas de trabajo aplicadas en campo, de forma que cumplan con normativas internacionales y regulaciones nacionales.
- Contratar formalmente, personal calificado y con experiencia, para ocupar puestos claves para el monitoreo de estabilidad de suelos:
- Superintendente de Control de Terreno.
 - Ingenieros Geotécnicos.
 - Técnicos de Geotecnia.
 - Ingenieros de diseño y planificación de minas.
 - Superintendentes de Operaciones de Mina.
 - Supervisores de Turno de Operaciones de Mina.
 - Asesores de Seguridad Industrial.
- Garantizar la implementación y revisión anual, interna y externa, del PMES.
- Asegurar la revisión regular de los procedimientos operativos estándar y distribución con el personal.

1.4.3 Gerente de Servicios Técnicos de Mina

Es responsabilidad del Gerente de Servicios Técnicos de Mina:

- Implementar y mantener el PMES y garantizar que el mismo, cumpla con las regulaciones requeridas.
- Asignar los recursos necesarios, para cumplir con los requisitos del PMES.
- Empoderar a su equipo de trabajo, de forma que asuman las responsabilidades de sus cargos.
- Contratar formalmente, personal debidamente capacitado, calificado, con experiencia demostrada, en roles de liderazgo de Servicios Técnicos de Mina.
- Garantizar que los procedimientos, instrucciones y estándares relacionados al monitoreo de estabilidad de suelos, sean implementados y cumplidos.
- Asegurar que los aspectos geotécnicos, se tomen en cuenta en diseños y operaciones mineras.
- Garantizar la implementación de procedimientos operativos estándar, relacionados al manejo de riesgos de inestabilidad de taludes.

- Suministrar los equipos y materiales requeridos, para ejecutar un monitoreo de estabilidad de suelos eficiente y con altos estándares de calidad.
- Llevar a cabo auditorías, revisiones y programas de aseguramiento de calidad, de forma periódica y debidamente documentado.

1.4.4 Superintendente de Geotecnia

Es responsabilidad del Superintendente de Geotecnia:

- Implementar programas de capacitación periódica, para que el personal se proteja y proteja los equipos, de riesgos de caída de roca.
- Implementar el PMES y velar porque el mismo, cumpla con todas las normas y requerimientos.
- Garantizar la asignación de todos los recursos necesarios, para el cumplimiento del PMES.
- Contratar formalmente, personal debidamente capacitado, calificado, con experiencia demostrada, en el campo de Geotecnia, aplicada en minería.
- Garantizar la implementación de procedimientos operativos estándar, relacionados al manejo de riesgos de inestabilidad de taludes.
- Asegurar que los aspectos geotécnicos, se tomen en cuenta en diseños y operaciones mineras.
- Garantizar que los procedimientos, instrucciones y estándares relacionados al monitoreo de estabilidad de suelos, sean implementados y cumplidos.
- Suministrar los equipos y materiales requeridos, para ejecutar un monitoreo de estabilidad de suelos eficiente y con altos estándares de calidad.
- Llevar a cabo auditorías, revisiones y programas de aseguramiento de calidad, de forma periódica y debidamente documentado.

1.4.5 Ingeniero Geotécnico Senior e Ingeniero Geotécnico Junior

Es responsabilidad de los Ingenieros Geotécnicos Senior y Junior:

- Colectar e interpretar data geotécnica, para la generación del Modelo Geotécnico de CP.
- Implementar programas de capacitación periódica, para que el personal se proteja y proteja los equipos, de riesgos de caída de roca.
- Registrar e interpretar el comportamiento histórico del macizo rocoso, información sumamente relevante, para el diseño de paredes finales del tajo.
- Desarrollar y actualizar, los criterios de diseño de taludes, como soporte al equipo de Planificación de Mina.
- Comunicar con anticipación al equipo de Planificación de Minas, aspectos geotécnicos a tomar en cuenta, en las secuencias de minado propuestas.

- Brindar soporte a los departamentos de Operaciones Mina y Planificación de Mina, en cuanto sea requerido.
- Inspeccionar e indicar la causa de los eventos de inestabilidad de terreno. Mantener un registro de inestabilidades actualizadas.
- Garantizar la revisión y auditoría del PMES.
- Inspeccionar las áreas activas e inactivas de la mina, con el objetivo de evaluar el comportamiento de taludes y alertar acerca del deterioro del macizo rocoso.
- Elevar los reportes de inestabilidad de terreno y mapas de riesgo del sitio, al Gerente de Mina y partes interesadas.
- Realizar todos los análisis requeridos, en caras de bancos expuestas, procesar datos y almacenarlos en la base de datos del departamento de Geotecnia.

1.4.6 Superintendente de Operaciones de Mina

Es responsabilidad del Superintendente de Mina:

- Garantizar el cumplimiento de los procedimientos operativos estándar, instrucciones y normas relacionadas con el control de terreno.
- Asegurar que los procedimientos operativos estándar, instrucciones y normas relacionadas con el control de terreno, se comprenden y se implementan en campo.
- Garantizar que todo el personal de operaciones, recibe capacitaciones periódicas, para protegerse a sí mismo y a su equipo, de los riesgos de caída de rocas.
- Coordinar, junto con el personal de Geotecnia, inspecciones de todas las fallas y elaboración de los informes correspondientes.
- Distribuir con el personal de operaciones, los informes generados por el equipo de Geotecnia, referentes a fallas y de variaciones de diseño, respecto a la superficie minada
- Garantizar que las actividades de perfilado y limpieza de bermas, se realiza de forma eficiente, buscando el cumplimiento del diseño del banco.

1.4.7 Supervisores de Operaciones de Mina

Es responsabilidad de los Supervisores de Operaciones de Mina:

- Inspeccionar todas las áreas de minado activas, junto con áreas de desagüe, perforación, carguío y construcción, al menos una vez por turno, con el objetivo de identificar riesgos de caída de roca, siguiendo los puntos establecidos en los procedimientos operativos estándar del PMES.
- Reportar al Ingeniero Geotécnico, supervisores y superintendente de turno de Operaciones Mina, acerca de eventos de inestabilidad o riesgos de control de terreno.

1.4.8 Todo personal laborando en sitio

Es responsabilidad de todo el personal laborando en sitio:

- Evaluar mediante inspección visual, las condiciones del terreno en su área de trabajo y reportar a su supervisor cualquier condición insegura, garantizando de esa forma, un entorno seguro de trabajo.
- Reportar si durante el turno de trabajo, observan la aparición de grietas en tensión, caída de material suelto o cualquier condición cambiante.
- Cumplir con los requerimientos y procedimientos estándar, establecidos en PMES.
- Realizar trabajos, aprobados por los Supervisores de Operaciones Mina y a los que se han aplicado análisis de riesgos, en colaboración con los departamentos de Seguridad y Geotecnia.
- Asegurar la colocación de señalizaciones, cuando la actividad lo requiera.

1.5 Control de Documentación

Toda la documentación debe mantenerse actualizada, ante cualquier cambio implementado.

Cualquier cambio de personal o gestión de control de terreno, debe quedar por escrito, en caso de que el responsable del Monitoreo de Estabilidad de Suelo, no esté disponible en el momento requerido y que la única fuente de información, sea el Plan Monitoreo de Estabilidad de Suelos, o cualquier procedimiento operativo estándar. El PMES, debe actualizarse anualmente.

2. CONFIGURACIÓN DE LA MINA

Esta sección proporciona una breve descripción de los aspectos geológicos clave, que afectan las condiciones del terreno. Se presenta una descripción y un resumen de la información geotécnica histórica disponible, junto con el programa de recolección de datos (laboratorio, mapeo, perforaciones diamantinas). Se aborda el comportamiento histórico general de los diferentes dominios geotécnicos.

Las propiedades geo mecánicas generales de las diferentes masas rocosas o estructuras, se incluyen en una tabla resumen, y se presenta la caracterización de la estructura del macizo rocoso (características principales, conjuntos de fallas y discontinuidades). Se incluye información tectónica y régimen de estrés sísmico asumido. Posteriormente, se presentan la información hidrogeológica, su efecto en el diseño de la mina. Las limitaciones e incertidumbres asociadas a los datos geotécnicos, concluirán esta sección.

2.1 Localización del Sitio

El proyecto Cobre Panamá, se ubica en los distritos de Donoso y Omar Torrijos Herrera, de la Provincia de Colón, República de Panamá, aproximadamente a 120 kilómetros al oeste de la Ciudad de Panamá, (Figura 1).

El centro del área del Proyecto se encuentra a una latitud de 8°50' norte y una longitud de 80°38' oeste. El Proyecto es accesible desde la Ciudad de Panamá, a través de la Carretera Panamericana y caminos pavimentados y de grava secundarios. La propiedad constituye la mayor posesión, dentro de un total de cuatro concesiones de aproximadamente 12 995 hectáreas y es el primer proyecto minero a gran escala construido en Panamá.



Figura 1. Localización del proyecto Cobre Panamá. ESlA CAT III.

2.2 Marco Geológico General

El proyecto Cobre Panamá, consiste en varios sistemas mineralizados de pórfido de cobre (Cu), oro (Au), molibdeno (Mo) y plata (Ag), que fueron descubiertos por primera vez en Panamá, durante un estudio geológico regional, realizado por un equipo del Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas, en 1968. La exploración por numerosas empresas, desde entonces, llevó al descubrimiento de tres grandes depósitos (Botija, Colina y Valle Grande. Hasta febrero de 2018, se han perforado un total de 1 813 pozos

de perforación diamantina, sumando 348 775 metros, con muchos de los depósitos perforados a una separación de 50 metros por 50 metros, 200 metros por 200 metros o más. La perforación de circulación inversa (RC), se inició en el tajo Botija, a finales de 2017. Se han perforado un total de 2 911 pozos de RC de 45 metros de profundidad, a una separación de 15 metros por 15 metros.

Los depósitos se encuentran en el margen sur de un gran batolito de granodiorita, de edad media del oligoceno (hace 36.4 millones de años). La mineralización se encuentra alojada en granodiorita, pórfido de feldespato, cuarzo y hornblenda, y algunos volcanes de andesita. Las litologías hospedadoras y la mineralización, están cortadas por diques posteriores de composición andesítica o félsica. La alteración hidrotermal, es principalmente de sílice-clorita, una forma de alteración propilítica. Se nota una alteración potásica local en Botija. La mineralización de mayor grado está asociada con vetillas de cuarzo.

El mineral sulfuroso dominante es la calcopirita, con solo una pequeña cantidad de bornita. La mineralización sulfúrica se presenta de manera diseminada o como micro venillas y vetillas de cuarzo y sulfuro. Se suelen encontrar trazas de molibdenita en venillas de cuarzo. No hay evidencia de enriquecimiento de cobre supergénico en Botija, Colina y Valle Grande. También se ha identificado un enriquecimiento local de oro supergénico en Colina.

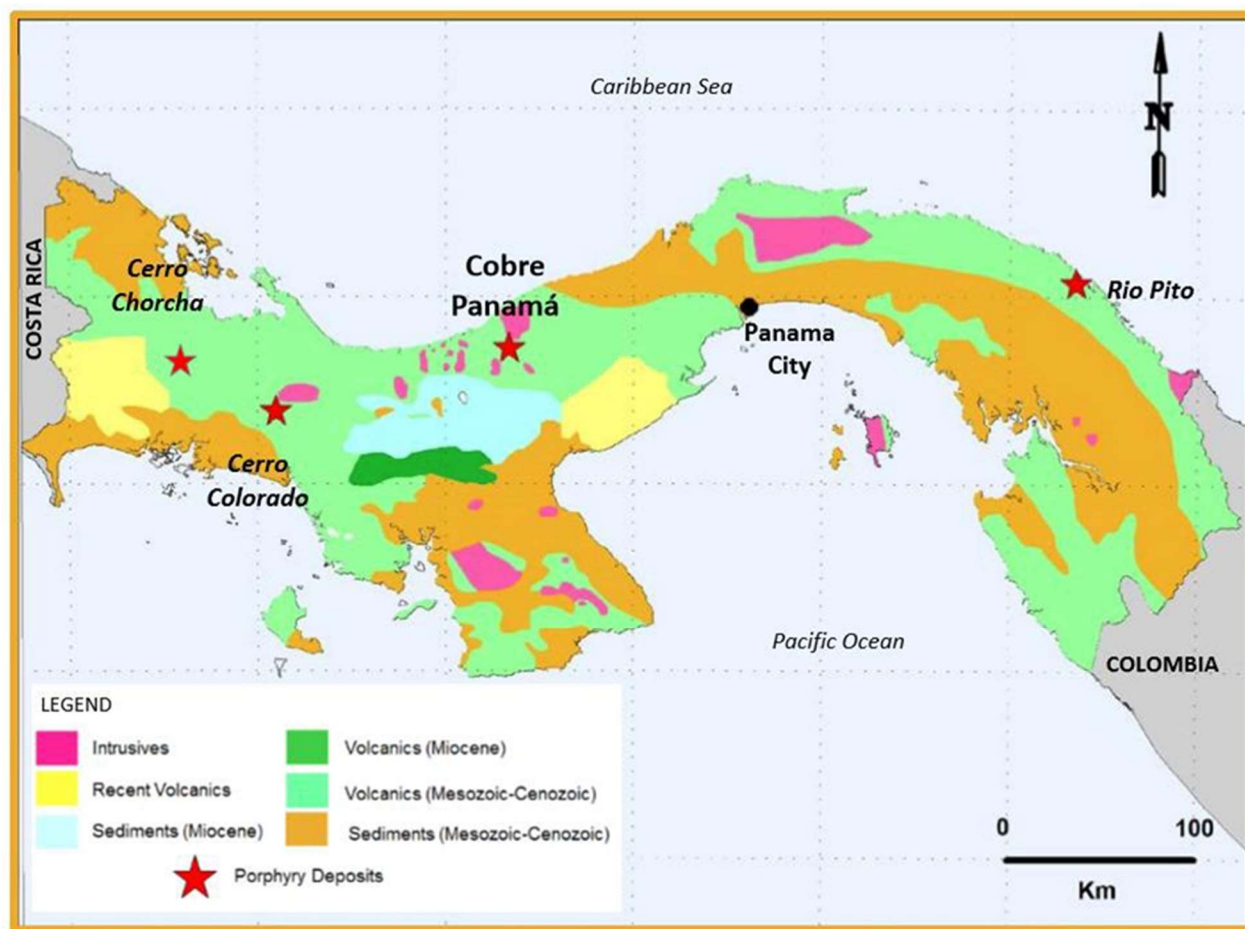


Figura 2. Mapa Geológico Regional Simplificado. MPSA.

2.2.1 Tipos de Depósito

2.2.1.1. Mineralización Supergénica

La oxidación de los sulfuros, cerca de la superficie del perfil de meteorización, ha lixiviado cobre de la saprolita actual. El cobre se ha re precipitado, débil y de manera irregular, en las zonas superiores de los depósitos. Los sulfuros secundarios son predominantemente de calcosina, con menor covelita y raramente cobre nativo. Estos minerales secundarios se presentan como rellenos de fracturas, recubrimientos sobre minerales sulfúricos primarios y diseminaciones. Donde estos sulfuros han sido oxidados, la malaquita es el principal mineral de óxido de cobre.

Notablemente, la mayoría de los depósitos de Cobre Panamá, carecen de una zona significativa de enriquecimiento. Se debe probablemente a la eliminación por erosión, de una zona de alteración fílica, previamente bien desarrollada, que pudo haber cubierto estos depósitos. Las zonas de alteración fílica, son rocas anfitrionas adecuadas para la re-precipitación de cobre, ya que pueden neutralizar suficientemente los fluidos ácidos requeridos para la lixiviación.

2.2.1.2. Mineralización Hipogénica

La mineralización hipogénica dentro de la granodiorita y diversas litologías de pórfido, consiste en sulfuros diseminados, micro venillas, rellenos de fracturas, venillas y vetillas de cuarzo y sulfuro. Las venas se han clasificado de acuerdo con Gustafson y Hunt (1975), quienes describieron en detalle la mineralización de pórfido de cobre en El Salvador y Chile.

La mineralización de cobre, se presenta como calcopirita, con menor cantidad de bornita. En todos los depósitos, la proporción de bornita en relación con la calcopirita, parece aumentar con la profundidad. La molibdenita está presente en venillas de cuarzo "B" (Gustafson y Hunt, 1975). La pirita es ubicua, pero su tenor aumenta en asociación con la alteración fílica y clorito sílica, en comparación con otros ensamblajes de alteración. Dentro de la zona de alteración fílica, la pirita se presenta como diseminaciones y en venillas "D" (Gustafson y Hunt, 1975) con cuarzo. La mineralización de especularita y magnetita se presenta como diseminaciones y venillas en todos los depósitos.

La mineralización en los contactos entre la andesita y el pórfido de feldespato-hornblenda-cuarzo, puede alcanzar un alto tenor de cobre en zonas de "hornfels" de biotita. La calcopirita es el sulfuro dominante, con menor pirita y rara bornita, ocurriendo en venillas, bultos y diseminaciones. Este estilo de mineralización a menudo es cortado por venas de cuarzo y sulfuro.

2.2.2 Depósitos y Dominios Mineralizados de Cobre Panamá

2.2.2.1. Botija

El yacimiento de Botija, se ubica en la zona noreste de la concesión de Cobre Panamá. Botija se encuentra albergado en varios diques de pórfido de feldespato, cuarzo y hornblenda (hasta cuatro), con espesores que varían de 20 a 200 metros y que han intruído las rocas hospedantes de granodiorita y andesita. La morfología del pórfido en Botija, sugiere que se intruyó desde el norte como una serie de diques que alimentaron la apófisis central, donde se fusionaron (Rose et al., 2012). En general, el buzamiento de los diques más distintivos es de aproximadamente 70° al norte.

En Botija, se han identificado dos techos colgantes de andesita irregulares, en forma de quilla, de aproximadamente 500 metros de diámetro (Rose et al., 2012), separados por aproximadamente 300 metros y con profundidades de entre 200 y 300 metros. Al norte del yacimiento, se encuentra un saliente más pequeño, de hasta 250 metros de rumbo y con una profundidad de 150 m. Se creó un modelo geológico que muestra la distribución de los principales tipos de roca, a partir de secciones transversales sur-norte, espaciadas entre 50 y 100 metros. En la Figura 3, se presenta una sección transversal típica.

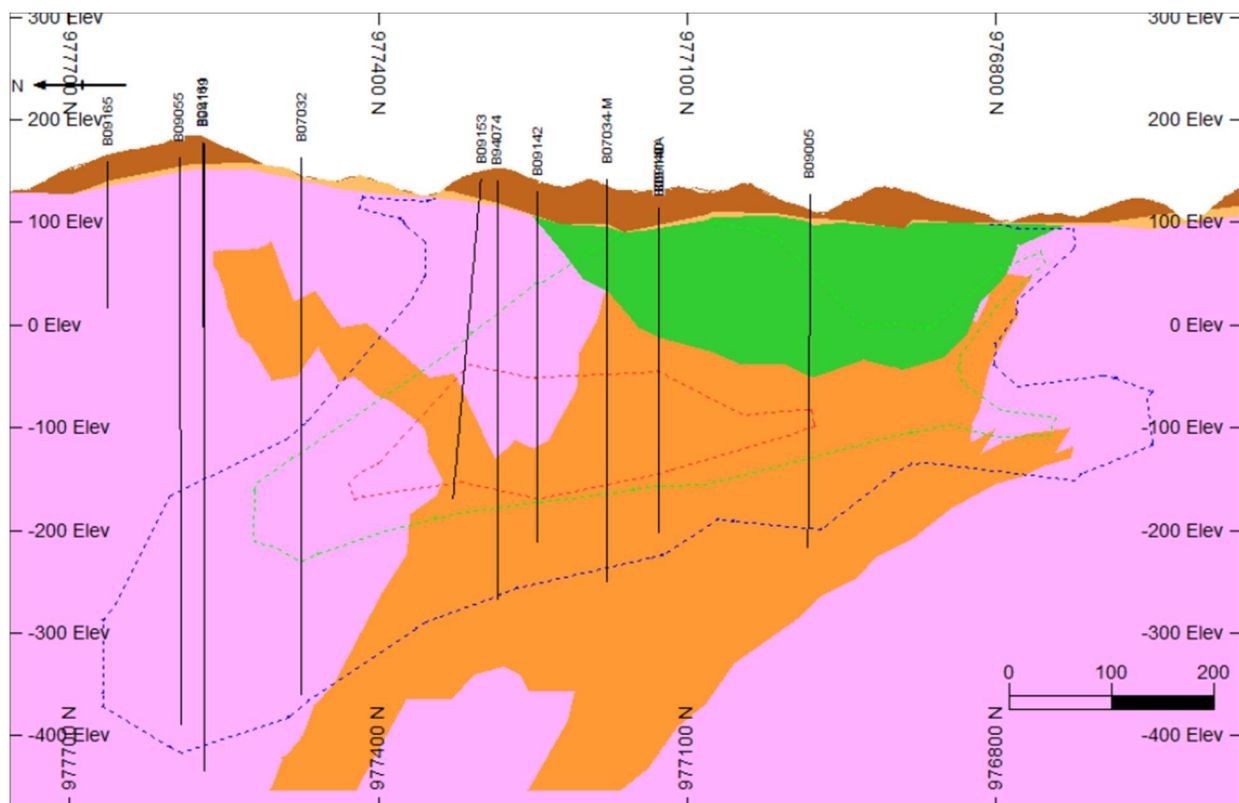


Figura 3. Sección Geológica Sur-Norte, de Botija, corte de perfil en la coordenada 538 140m Norte. MPSA.

2.2.2.2 Colina

El yacimiento Colina, se concentra en un complejo de lolopito, de pórfido de feldespato, cuarzo y hornblenda, de 3 kilómetros de largo por 1,2 kilómetros de ancho, con orientación este, sureste. Se creó un modelo geológico que muestra la distribución de los principales tipos de roca a partir de secciones transversales norte sur, espaciadas a intervalos de 100 metros. En la Figura 4, se presenta un ejemplo de una sección transversal del yacimiento Colina, que muestra la geología, fallas y mineralización.

La mayor parte del pórfido de feldespato, cuarzo y hornblenda, se compone de lolopitos de 50 metros a 200 metros de espesor, con buzamiento superficial hacia el norte y a menudo, interconectados por diques. Se han registrado diques félsicos y máficos en todo el depósito, pero debido a inconsistencias en los registros entre campañas de perforación, así como a la naturaleza estrecha de los diques (especialmente los diques máficos subverticales), es difícil modelar su distribución con precisión.

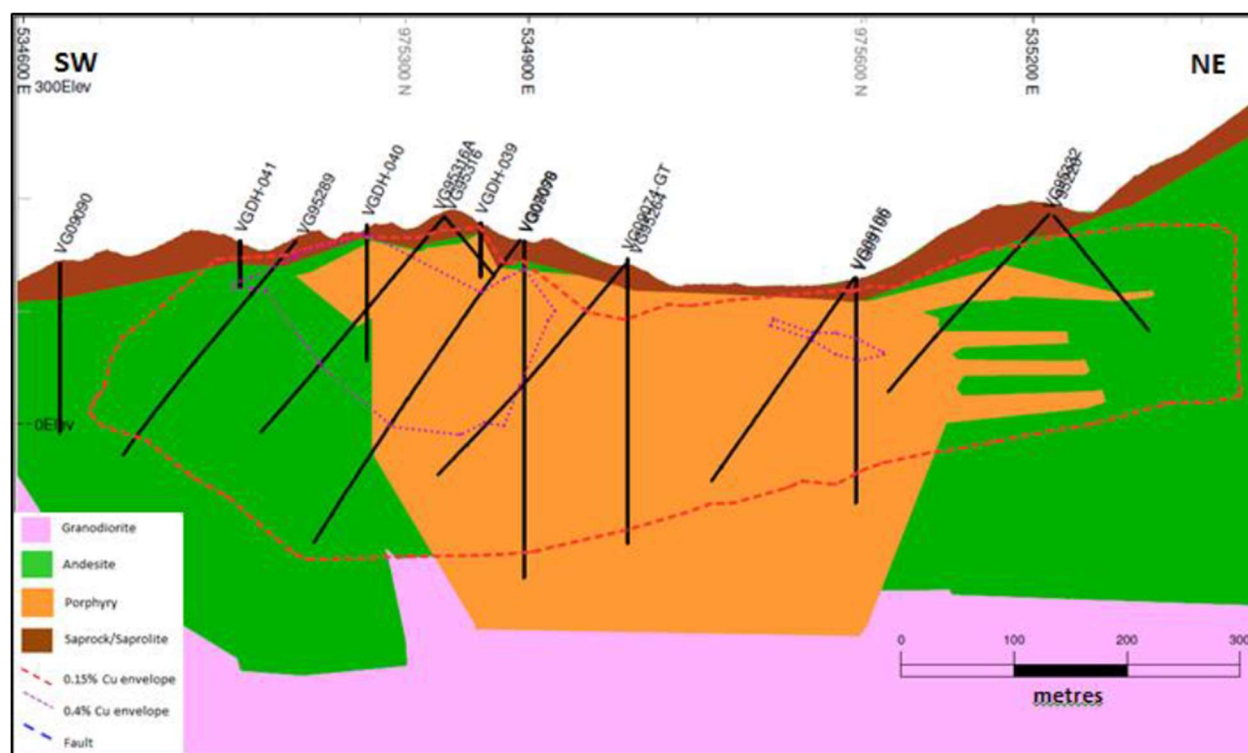


Figura 4. Sección sur a Norte, a lo largo de la coordenada 533 800mN, del depósito de Colina. MPSA.

2.2.2.3. Valle Grande

El yacimiento de Valle Grande, se ubica al sureste de Colina y tiene 3,2 kilómetros de longitud y 1 kilómetro de ancho, con orientación noroeste-sureste (Figura 5). El yacimiento se centra en un lolopito pórfido irregular de feldespato y hornblenda. El modelo geológico de Valle Grande, se creó mediante

interpretaciones seccionales orientadas 40° al este del norte, a lo largo de una separación de 100 metros. En la Figura 5, se presenta una sección transversal oblicua del modelo geológico de Valle Grande.

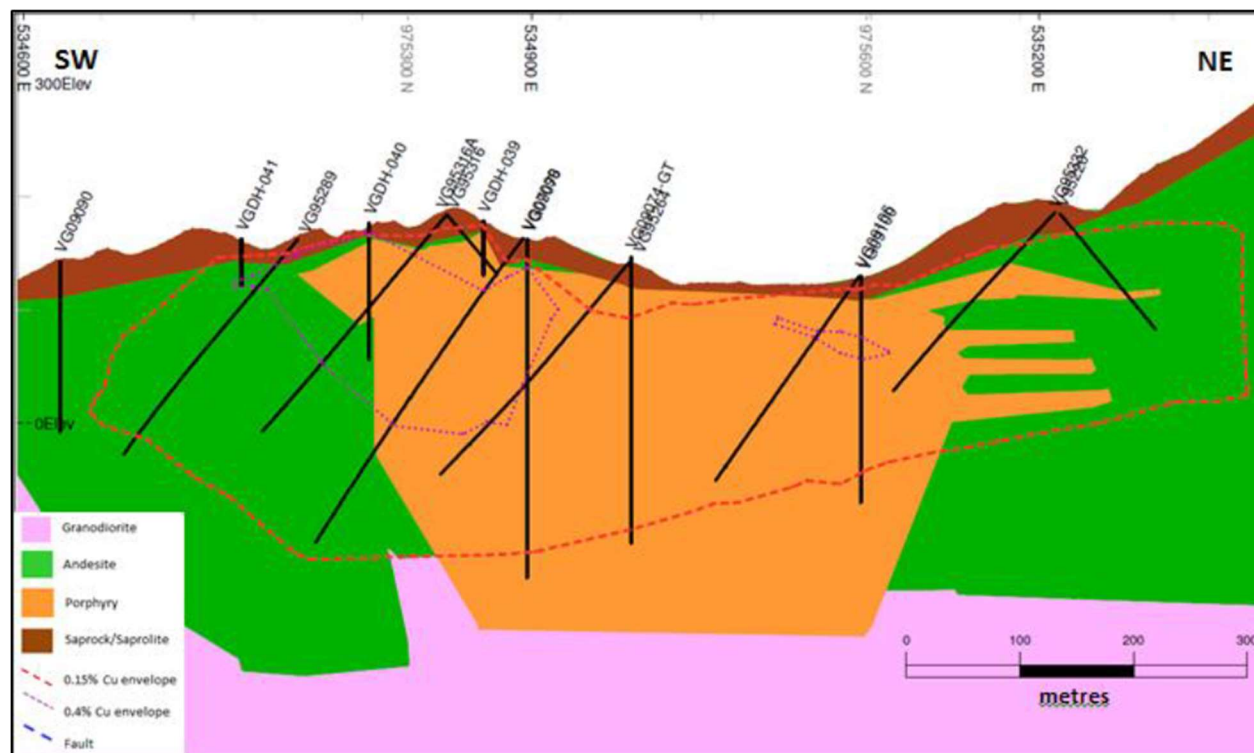


Figura 5. Sección oblicua, orientada al Noroeste, del yacimiento de Valle Grande. MPSA.

3. MODELO ESTRUCTURAL

Se han identificado tres generaciones de estructuras, a partir del mapeo realizado en el Proyecto Cobre Panamá (Model Earth, 2013). Las características más tempranas tienen una orientación de este-oeste a noreste-suroeste y presentan buzamientos moderados al norte, caracterizados por fracturación y clivaje generalizado con fallas y cizallamiento asociados. Estas zonas de fallas, suelen ser amplias (hasta 200 metros) con numerosas estructuras anastomosadas y se cree que forman parte de una estructura tectónica temprana y generalizada, presente en todos los tipos de roca, excepto en los diques máficos de etapa tardía. Estas características muestran un movimiento inverso constante con cierta influencia en la mineralización. Podría existir una posible relación genérica entre el emplazamiento de pórfidos mineralizados y estas fallas tempranas.

Existe un segundo conjunto de fallas de deslizamiento conjugadas, dominadas por una serie de fallas sinistralas con orientación noroeste y buzamientos pronunciados a moderados hacia el oeste, que se superponen a las estructuras más tempranas. Conjugadas a estas fallas con orientación noroeste, se encuentran una serie de fallas dextrales, con orientación noreste, con buzamientos de moderados a pronunciados tanto al norte como al sur. Las relaciones de sobreimpresión entre estas dos fallas no son

claras, lo que sugiere que se formaron contemporáneamente, como un conjunto conjugado. Estas fallas se observan en mapas e imágenes geofísicas.

A formación de fallas en etapa tardía, se caracteriza por fallas normales con orientación este-oeste, con buzamientos pronunciados tanto al norte como al sur. También se ha identificado otro conjunto de fallas normales con orientación noreste. Ambas fallas atraviesan muchas de las estructuras más antiguas del área del Proyecto.

En 2022, SRK Consultores, realizó una revisión estructural de los tajos Botija y Colina, para actualizar el modelo 3D. La revisión se basó en datos cartográficos de las paredes expuestas y accesibles de la mina. Según la interpretación de SRK Consultores, existen cinco fases de deformación dominantes, una más que la interpretación actual de cuatro fases. Si bien las diferentes fases siguen esencialmente la misma historia, sugieren cierta complejidad adicional.

Las cinco etapas de deformación propuestas se describen a continuación:

Fase 1: Pre Extensión del Pórfido

Un evento de deformación extensional temprana (D1), que incluye la intrusión de los cuerpos de pórfido. Se propusieron fallas de extensión con dirección Este-Oeste a Noreste.

Fase 2: Post Extensión del Pórfido

La mejor evidencia de extensión regional, es el sistema de diques intrusivos máficos comunes a lo largo de la calicata, que atraviesan las intrusiones preexistentes. Las intrusiones máficas subverticales, suelen ocurrir debido a la extensión regional. Los diques están fallados o deformados en muchas localidades, lo que sugiere un desarrollo temprano en relación con los eventos de formación de fallas posteriores.

Fase 3: Compresión

La esquina noroeste de la calicata proporciona la mejor evidencia de deformación compresiva, donde las intrusiones máficas están plegadas con una vergencia este aparente. SRK Consultores, no pudo acceder a los bancos que permitirían la medición de la lineación de la articulación. Además, no se observó una foliación axial planar clara, ya que la roca está intensamente fracturada y fallada, con orientaciones generales de los sistemas de fallas, con buzamiento intermedio de oeste a suroeste.

Fase 4: Desplazamiento de Rumbo

Muchas de las fallas observadas, presentan lineaciones de buzamiento casi horizontal a intermedio, lo que indica un componente de deformación por desplazamiento de rumbo. En esta interpretación, el

componente principal de máxima compresión, mantiene una orientación este a oeste (de la deformación de la fase 3) y el componente de mínima compresión rota de norte a sur (D4).

Fase 5: Extensión final

SRK coincide con estudios previos, en que se puede definir un evento de deformación extensional final (D5), basándose en cierta evidencia de menor confianza en la calicata (Figura 6). La sólida representación general de evidencia cinemática normal u oblicua, apoya una fase final de extensión que probablemente formó fallas y reactivó muchas estructuras preexistentes. Estas fallas normales pueden tener una orientación este- oeste, oeste- noroeste, o este-noreste, con buzamientos subverticales hacia el norte o sur. La deformación posiblemente estuvo vinculada a una extensión norte- sur. La interpretación de la extensión final es de baja confianza, ya que los indicadores cinemáticos de deformación extensional temprana, pueden haber sobrevivido a la deformación posterior; las laderas subverticales pueden formarse como parte de estructuras acomodativas complejas.

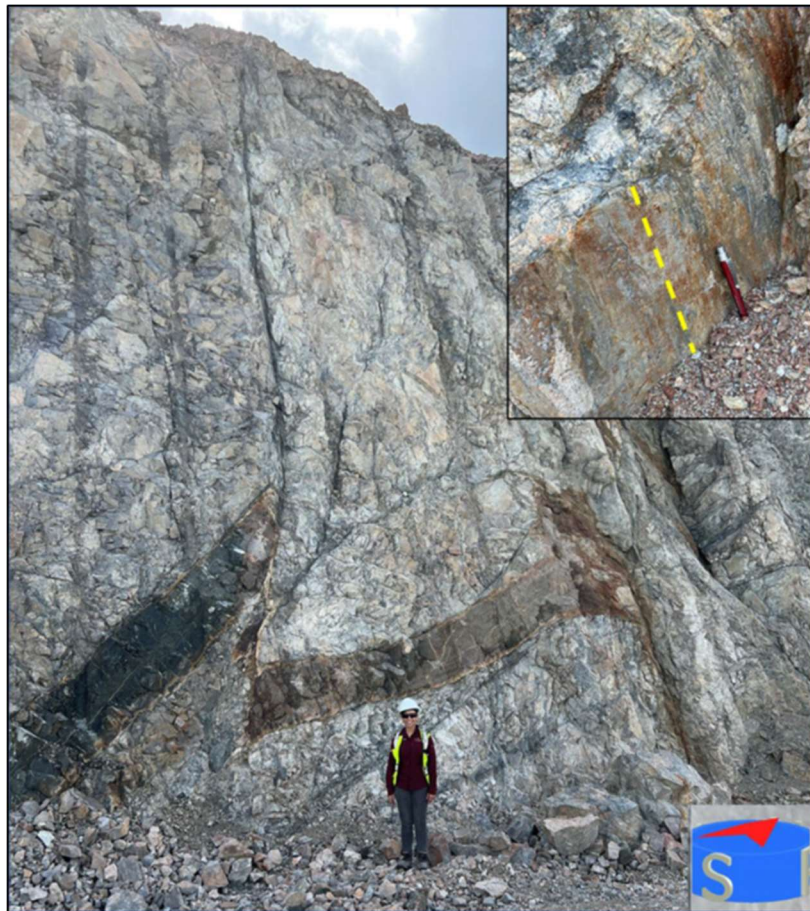


Figura 6. Desplazamiento de falla de dique máfico. Ingeniera Geotécnica, como representación de escala. El desplazamiento y rotación, es complicado por la presencia de diversas fallas, pero las observaciones más claras fueron subverticales. Indicando una posible deformación extensional tardía. SRK Consultores.

3.1. Interpretación del Sistema de Fallas 3D del Tajo Botija

La zona de falla más extensa interpretada en el Tajo Botija, es la Falla Botija, con dirección noreste y buzamiento noroeste. Los indicadores cinemáticos sugieren un sentido de cizallamiento dextral oblicuo normal. La forma y geometría general de la Falla Botija en el modelo SRK Consultores, difiere de los modelos anteriores. La reinterpretación se basa en la orientación medida de la falla, que se extiende desde la ladera sur y se traza a través de intersecciones de sondajes, categorizadas como probable zona de falla (Figura 7).

Se interpreta, además, que la superficie de la Falla Botija, se curva en dirección este- noreste, para conectar con lo que probablemente sea una gran traza de falla en la esquina noreste del tajo. Si bien, esta interpretación es incierta, parece más creíble, que la falla gire hacia el este. Se identificaron previamente varias fallas con dirección noreste, las cuales, según se ha interpretado, tienen una fuerte influencia en la orientación del sistema mineralizado en todo Botija.

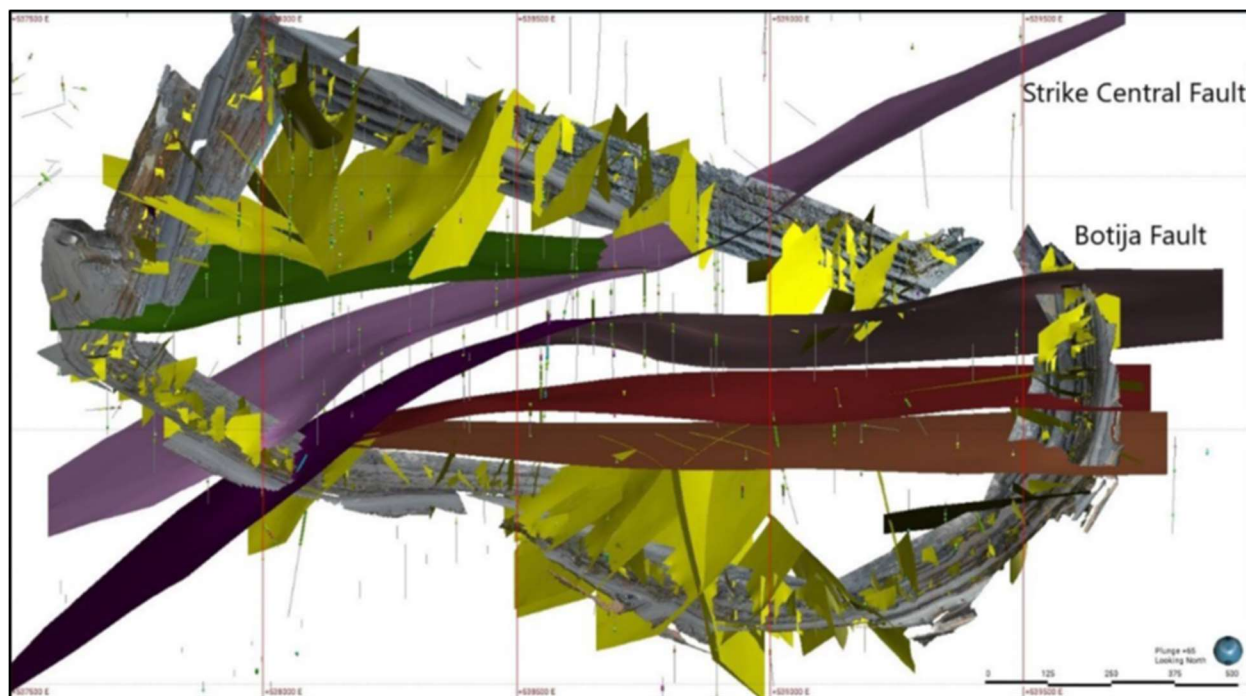


Figura 7. Interpretación 3D del sistema de fallas en el área de Botija. Colores elegidos, con el propósito de maximizar la visibilidad de la imagen. SRK Consultores.

Durante el mapeo, se identificaron muchas fallas de buzamiento y deslizamiento, la mayoría de las cuales se identifican como normales o extensionales. Estas fallas tienden a tener brechas y surcos de arcilla suave y a veces, relleno de carbonato y clorita.

En el estudio estructural de la empresa SRK Consultores, realizado en 2023, se explican las deformaciones históricas de Cobre Panamá. El resumen de las deformaciones, concuerda con estudios previos realizados en Cobre Panamá.

Evento de Deformación Escala de Distrito	Orientación de Deformación	Características de la Deformación
D1	Desconocida	Extensión temprana, posible intrusión del pórfido premineralizado.
D2	Este- extensión Oeste	Fallamiento intrusivo post-pórfido. Intrusiones de diques máficos.
D3	Compresión Este- Noreste- Oeste-Suroeste	Fallas inversas y plegamiento de diques máficos.
D4	Compresión Este- Oeste	Fallas de rumbo conjugado, con fallas siniestras de rumbo Norte Noroeste a Noroeste y fallas dextrales de rumbo Noreste a Este Sureste.
D5	Extensión Norte- Sur	Fallamiento normal tardío y reactivación de estructuras formadas anteriormente

Tabla 1. SRK Consultores. Resumen de deformaciones históricas de Cobre Panamá.

La mayoría de las fallas en el Tajo Botija, son de buzamiento oeste, presumiblemente relacionadas con la deformación compresiva D3 este-oeste, posteriormente reactivada por el evento extensional D5 más reciente.

3.2. Interpretación del Sistema de Fallas 3D del Tajo Colina

La interpretación de Colina, se basa en gran medida, en las trazas de falla generadas con EasyMineXR (tecnología de SRK Consultores), en imágenes de drone. La interpretación se confirmó visualmente, únicamente en el banco accesible más bajo, donde solo se determinó una observación cinemática de falla, con un sentido de cizallamiento inverso. Las trazas de falla indican un sistema de fallas con buzamiento dominante de oeste a oeste-suroeste, con fallas y fracturas con buzamiento superficial menos comunes de suroeste (Figura 8).

Los afloramientos rocosos centrales, están delimitados a ambos lados por roca altamente oxidada y alterada. Las texturas de deformación dentro de los afloramientos alterados, probablemente trazan zonas de falla más amplias o zonas de cizallamiento. Estas zonas de cizallamiento delimitadoras se han modelado como volúmenes con un espesor interpretado, pero se requerirá un mapeo adicional para caracterizar las estructuras con mayor precisión.

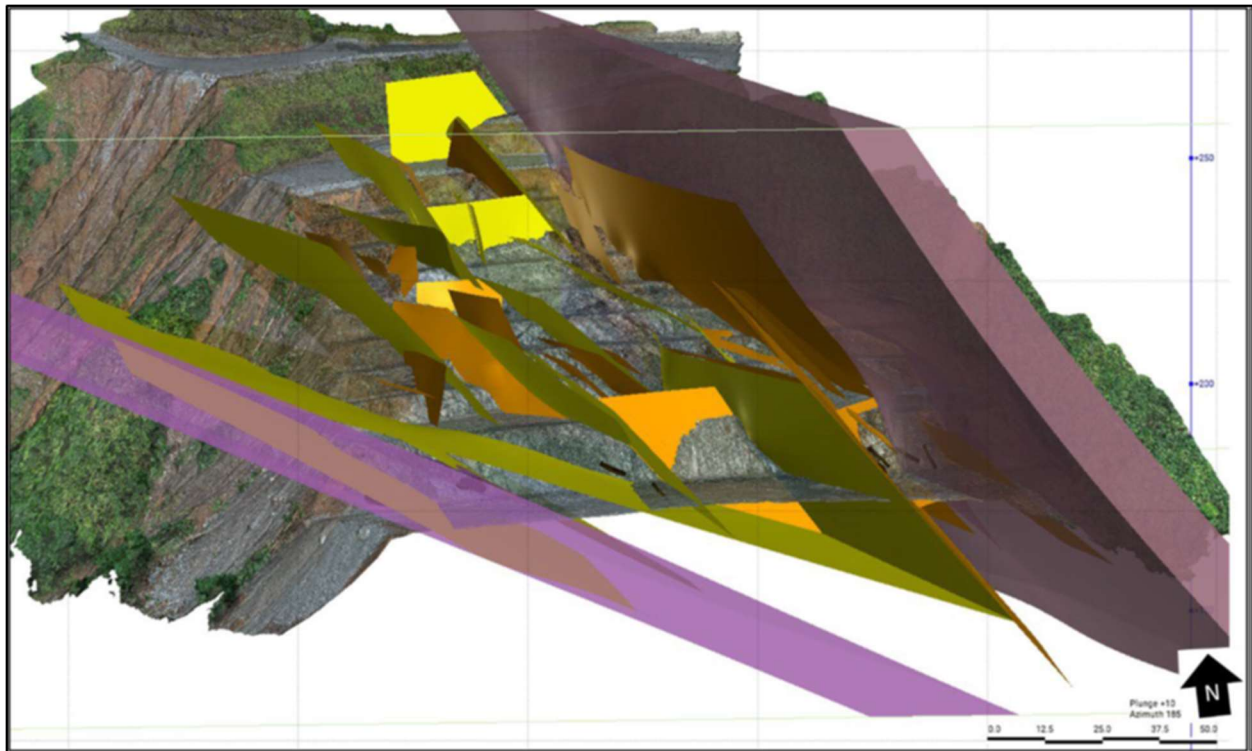


Figura 8. Interpretación del sistema de fallas del Tajo Colina. El área de estudio muestra fallas con inclinación dominante de oeste a oeste-suroeste. SRK Consultores.

4. DATOS GEOTÉCNICOS

La información geotécnica de los diferentes yacimientos ubicados en la concesión de Cobre Panamá, se basa principalmente en el estudio de pre factibilidad de Call & Nicholas (CNI) realizado en 2012. Actualmente, el diseño de taludes de Botija y Colina, se está revisando con la ayuda de los nuevos datos disponibles sobre el comportamiento y la exposición de los taludes, debido al avance minero en estos dos tajos. En 2021, se realizó una campaña de perforación geotécnica para cubrir las paredes sur y este del tajo Botija. Hasta noviembre de 2023, se llevó a cabo un programa de perforación, para obtener datos actualizados de la pared norte, en relación con los cambios en los límites finales y para contar con un conjunto completo de datos geotécnicos de todo el tajo. Debido al cese de operaciones de Cobre Panamá, no se llevó a cabo el estudio y recolección de datos de los núcleos extraídos en la campaña de perforación geotécnica. De darse una reactivación de las operaciones de Cobre Panamá, se debe proceder con la recolección de datos de núcleos e incluir dichos datos en el Modelo Geotécnico del Tajo Botija, con el objetivo de publicar un diseño de taludes actualizado, basado en la nueva interpretación de los datos, según se requiera en dominios específicos.

4.1 Botija

A medida que aumentaba la cantidad de datos, fue necesario realizar ajustes en el diseño geotécnico para abordar los desafíos encontrados en cada sector expuesto. La versión actual consta de siete sectores geotécnicos, basados en contactos litológicos y un modelo de fallas principales actualizado (Figura 9). Los ángulos de pendiente del IRA, oscilan entre 46 y 36 grados, con una reducción significativa en los sectores de las paredes este y sur, debido a la presencia de fallas importantes con un buzamiento, moderado a bajo, hacia el norte y el noroeste. La configuración de la pendiente de cada sector se muestra en la Tabla 2.

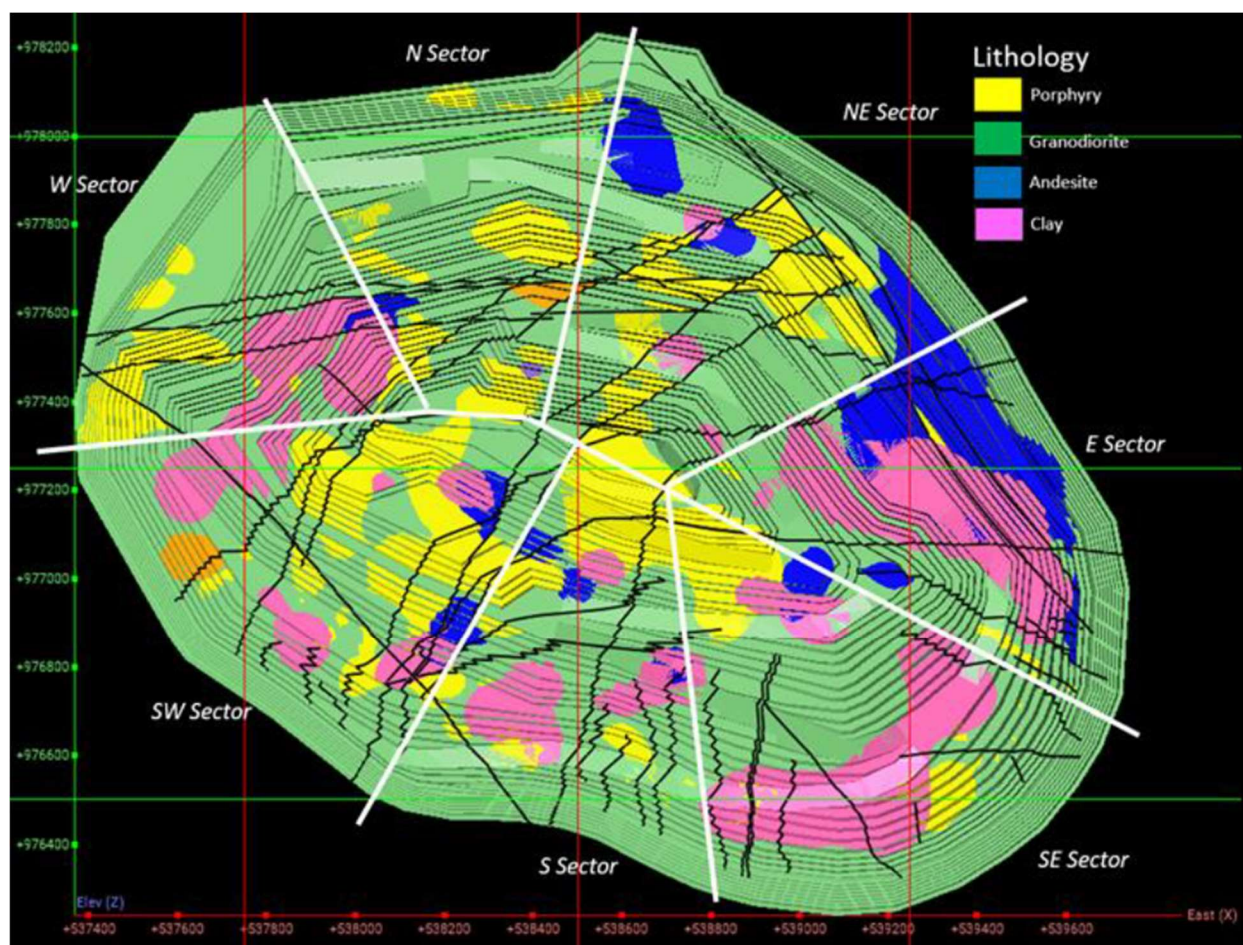


Figura 9. Actualización de los sectores geotécnicos del Tajo Botija, considerando la litología y fallas mayores. MPSA.

Pit	Sectors	IRA (°)	BFA (°)	Berm Width (m)	Geotech Berm (m)	Stack Height (m)
Botija	N	44	75	10.5	25	90
	NE	46	75	10.5	25	90
	E	36	70	15	25	90
	SE	36	70	15	25	90
	S	42	75	12.5	25	90
	SW	36	70	15	25	60
	W	42	75	12.5	25	90

Tabla 2. Parámetros de diseño de taludes del Tajo Botija, por sector. MPSA.

La campaña de perforación geotécnica de 2021, consistió en ocho pozos orientados, ubicados en las paredes sur y este. El programa de 2023, detenido a raíz del cese abrupto de operaciones de Cobre Panamá, constaba de ocho pozos orientados, ubicados principalmente en la parte norte del tajo, para garantizar una distribución completa de los datos en todo el tajo (Figura 10).

Se recolectan muestras de roca de cada pozo, para ampliar el conjunto de datos existente sobre resistencia de roca, que actualmente es deficiente y no ofrece una visión completa de los diversos tipos de litología y alteración. Estas muestras se recolectan para realizar ensayos UCS, triaxiales, de corte directo y brasileños. Se envían a un laboratorio certificado en el extranjero en dos lotes para su análisis. Las pruebas de carga puntual (PLT) se realizan en el laboratorio geotécnico de la mina de Valle Grande a un intervalo de 3 metros. Estos datos se utilizan para estimar valores UCS equivalentes, mediante la aplicación de un factor de correlación constante derivado de los datos UCS de las pruebas de laboratorio. Se presenta un resumen de los datos de resistencia existentes de los diferentes tipos de roca en las tablas 2 y 3.

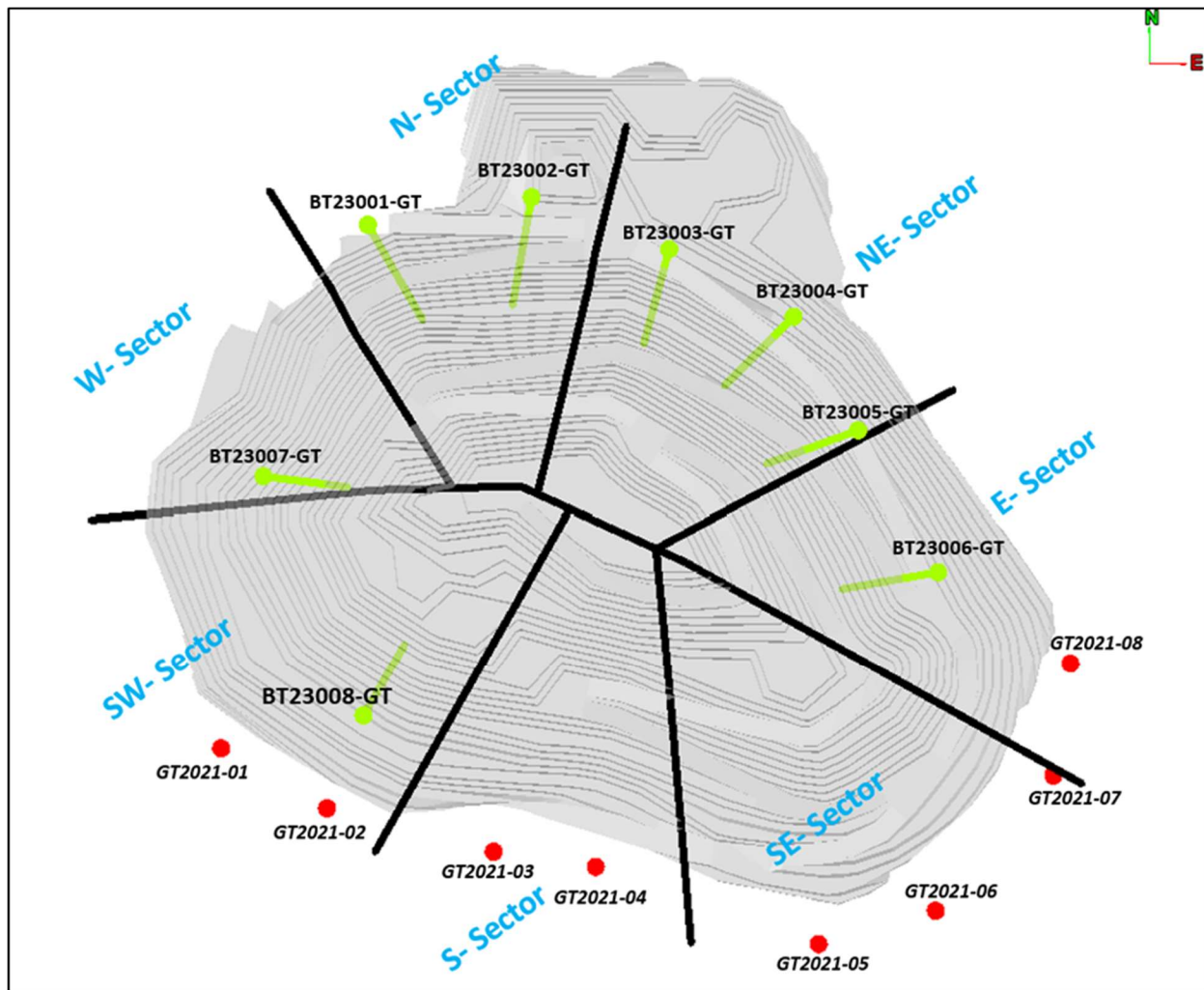


Figura 10. Campaña de perforación geotécnica de 2021 en rojo. Las líneas verdes indican la localización de los pozos proyectados de la campaña de perforación geotécnica 2023. MPSA.

La resistencia del macizo rocoso, se determinó mediante el análisis de los datos de los sondeos, obtenidos durante la campaña de perforación geotécnica de 2021. Para evaluar el macizo rocoso, se empleó la Clasificación de Masas Rocosas de Bieniawski versión 1976 (RMR76). Las diferentes unidades rocosas se

clasificaron según su resistencia, siendo la granodiorita pórfida la más resistente, seguida de la andesita, la granodiorita y el dique en orden descendente.

Dentro de cada unidad rocosa, los valores altos de resistencia se asocian con alteraciones de tipo propilítico, potásico y clorítico sericítico. Por otro lado, los valores bajos de resistencia se asocian con alteraciones arcillosas y argílicas, que presentan una diferencia significativa en comparación con sus contrapartes (Figura 11).

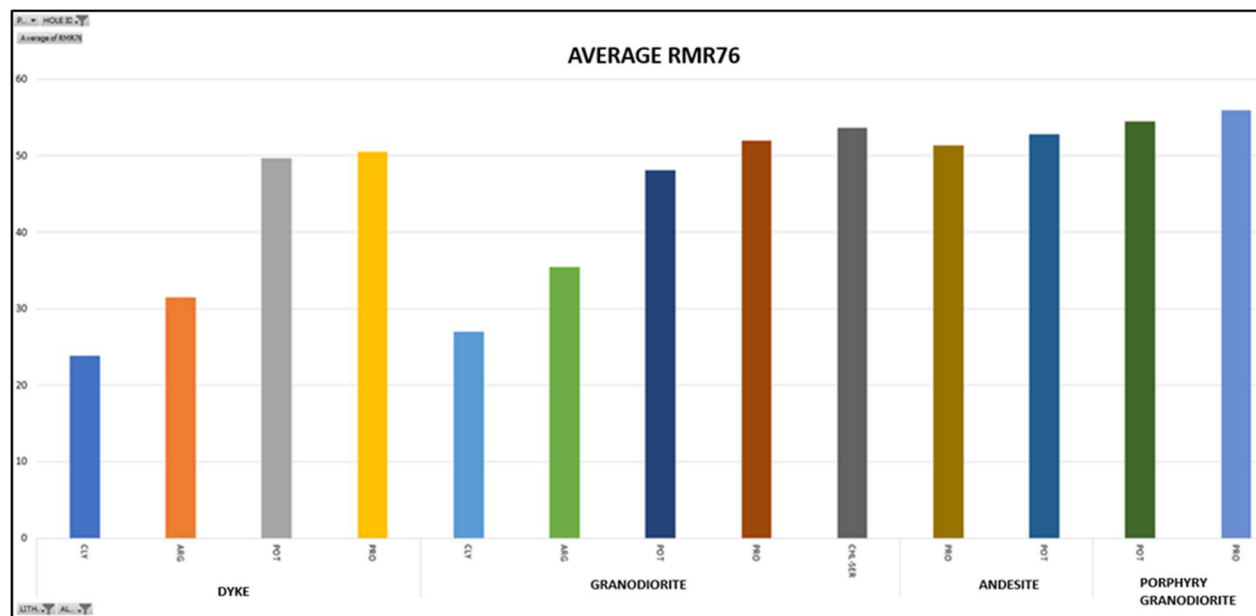


Figura 11. Distribución promedio del RMR76, para los sectores Sur y Este del Tajo Botija. MPSA.

INTACT SHEAR STRENGTH								
Rock Type	# Tests	PRINCIPAL STRESSES				MOHR-COULOMB		
		UCS		Slope	Si (deg)	Cohesion		Phi (deg)
		(psi)	(MPa)			(psi)	(MPa)	
Granodiorite (Favorably Altered)	15	13,887.8	95.8	15.4	86.3	1,770.9	12.2	61.4
All rock types (Unfavorably Altered)	17	6,117.7	42.2	5.7	80.1	1,278.3	8.8	44.6
Porphyry (Favorably Altered)	9	11,667.2	80.4	10.4	84.5	1,811.9	12.5	55.5
Andesite & Fine-Grained Mafics (Favorably Altered)	9	9,554.3	65.9	4.0	75.9	2,394.4	16.5	36.8

Tabla 3. Esfuerzo cortante promedio intacto, según tipo de roca. MPSA.

FRACTURE SHEAR STRENGTH				
Fracture Types	# Tests	Cohesion		Phi (deg)
		(psi)	(kPa)	
Type I - Unfilled, or no strength-softening mineral coatings	8	3.8	26.1	30.4
Type II - zeolite, gypsum, anhydrite, chlorite, molybdenum, powdered calcite, or clays (strength-softening mineral joint coatings)	6	5.0	34.5	25.6
Combined - Type I, Type II	14	4.6	31.8	28.5

Tabla 4. Esfuerzo cortante promedio de fractura, de los diferentes tipos de roca. MPSA.

4.2 Colina

El tajo Colina (Figura 12), se está desarrollando por fases, y su pared final se alcanzará en los primeros cinco años de producción. Esto contrasta con el tajo Botija, donde la explotación de la pared final sur ha sido una actividad continua desde su inicio. Hasta noviembre de 2023, se desarrolló la parte superior de la Fase 1, que constituye la parte central del tajo principal Colina. El diseño del talud, se basa en un estudio geotécnico de AMEC, de 2009, que utilizó datos de mapeo de superficie y perforación geotécnica orientada de cuatro pozos.

El tajo se divide en tres unidades geotécnicas, cuando se observa desde la superficie hacia abajo. Estas unidades incluyen una unidad de saprolita, una zona de bajo RQD y una unidad de macizo rocoso (Tabla 4). La unidad de macizo rocoso, se divide a su vez, en cuatro sectores de diseño diferentes basados en la cinemática estructural, ya que se espera que el talud general del tajo, esté controlado principalmente por la estructura y constituya una gran parte del tajo. Por razones de practicidad operativa, el diseño propuesto se ha modificado ligeramente para la unidad de saprolita, mientras que la altura del banco en la unidad de masa rocosa se ha limitado a una única altura de 15 metros.

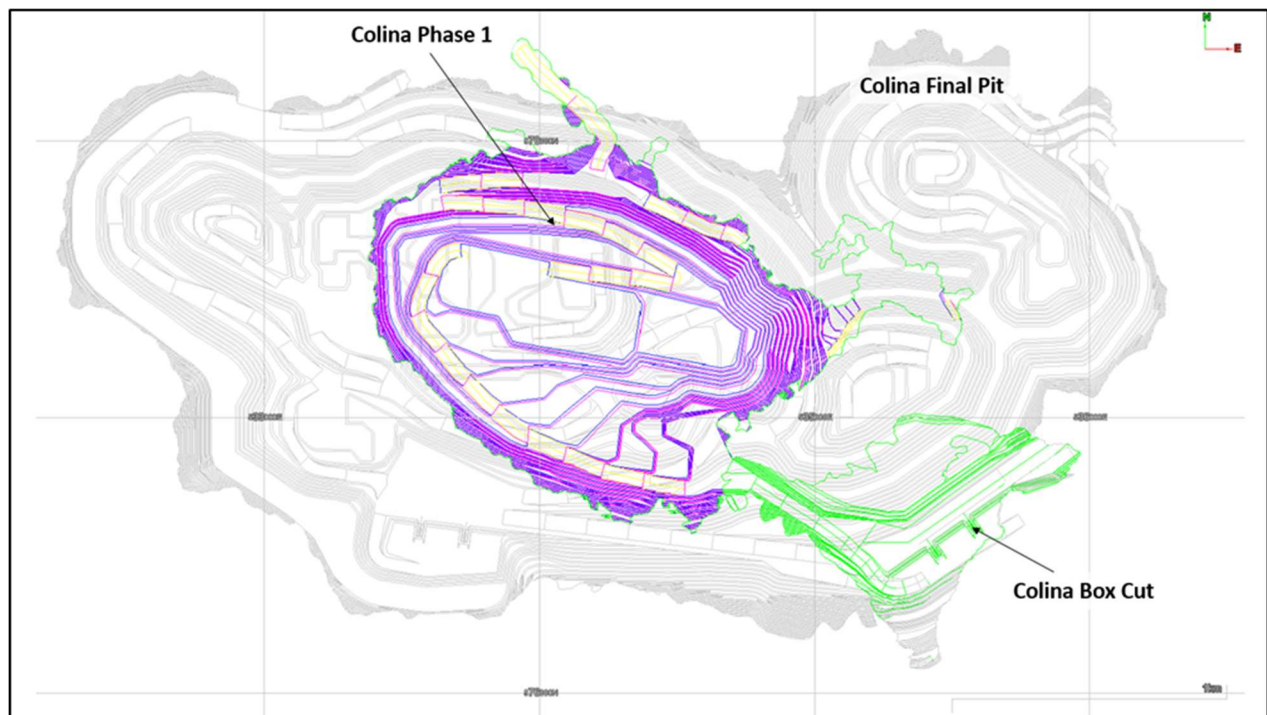


Figura 12. Diseño final de Colina, en color gris. Diseño de Fase 1, en color púrpura. Diseño de cajón de las trituradoras, en la sección sureste del tajo, en color verde. MPSA.

Geotechnical Unit	Design Sector	Bench Face Angle (degrees)	Catch Bench Width (m)	Bench Height ^{note 1} (m)	Inter-ramp Angle ^{note 2} (degrees)	Max. Bench Stack Height (m)	Step-out ^{note 3} (m)
Saprolite	All	55	8	10	33.7	30	20
Low RQD Zone	All	55	10	15	36.2	60	20
Rock Mass	1	55	11	30	43.1	90	16.5
	2	60	11	30	46.6	90	16.5
	3	65	11	30	50.2	90	16.5
	4	70	11	30	53.8	90	16.5
Notes: 1. Single operational bench height is assumed to be 15 m, 30 m refers to double benches 2. Inter-ramp angle is measured from toe to toe. 3. Minimum step-out at each bench stack height measured from crest to toe. A 20 m step-out is also required at the boundary between rock and saprolite							

Tabla 5. Parámetros de diseño de taludes, por sector, para el Tajo Colina. MPSA.

4.3 Valle Grande

Se recopilaban datos geotécnicos limitados para el estudio de pre factibilidad, realizado por AMEC y Call Nicholas, antes de 2012, en el que se basan los diseños de los taludes de Valle Grande. Actualmente, no se dispone de información geotécnica estructural que respalde el diseño del tajo a nivel operativo. Dado que el plan de mina para este tajo, se desarrollará en el futuro, es necesario ejecutar un programa geotécnico específico de acuerdo con la superficie actualizada del tajo.

Los diseños recomendados se basan en análisis de estabilidad, utilizando parámetros de entrada derivados de los tajos Botija y Colina. Se han utilizado ampliamente fotos de núcleos de perforación exploratoria para correlacionar características del terreno similares a las del tajo Botija. Los valores de IRA para Valle Grande se presentan en la Tabla 5.

Geotechnical Unit	Design Sector	Bench Face Angle (degrees)	Catch Bench Width (m)	Bench Height ^{note 1} (m)	Inter-ramp Angle ^{note 2} (degrees)	Max. Bench Stack Height (m)	Step-out ^{note 3} (m)
Saprolite	All	55	8	10	33.7	30	20
Low RQD Zone	All (if present)	55	10	15	36.2	60	20
Rock Mass	Any	55	11	30	43.1	90	16.5
Notes: 1. Single operational bench height is assumed to be 15 m, 30 m refers to double benches 2. Inter-ramp angle is measured from toe to toe. 3. Minimum step-out at each bench stack height measured from crest to toe. A 20 m step-out is also required at the boundary between rock and saprolite							

Tabla 6. Parámetros de diseño de taludes, para el Tajo Valle Grande. MPSA.

5. PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO

El propósito del Modelo de Masa Rocosa, es generar una base de datos, de las propiedades de la masa rocosa, para ser utilizada en análisis, con los que se prepararán los diseños de los taludes, en cada etapa del desarrollo del proyecto.

Requerimientos para generación del modelo:

- Prueba de Resistencia a la Tracción Indirecta.
- Prueba de Compresión Uniaxial.
- Prueba de Compresión Triaxial.

Sistemas de Clasificación:

- RMR, Bieniawski: calidad geotécnica del macizo rocoso, en un rango de 1 a 100.
- IRMR y MRMR, Laubscher: extensión del sistema RMR.

En esta sección, se presentan los datos registrados y los parámetros del macizo rocoso, según el tipo de roca, de la campaña de perforación geotécnica de 2021.

La Tabla 7, ofrece una descripción general del RMR promedio, la recuperación, la frecuencia de fracturas y la RQD. Como se describió anteriormente, la resistencia de la roca está muy influenciada por los dos tipos de alteraciones: la arcillosa y la argílica.

Debido al cese de operaciones, se mantiene en pausa el análisis de laboratorio de los testigos de los pozos perforados, durante la campaña de perforación geotécnica de 2023. En caso de un escenario de reapertura, se realizarán las pruebas de compresión triaxial, para proceder con la estimación del RMR y alimentar el modelo de masa rocosa.

Rock Unit	RMR76	RECOVERY (m)	FF/m	RQD (%)
DYKE	47.95	1.72	5.02	79.11
GRANODIORITE	51.02	1.78	3.98	86.88
ANDESITE	52.57	1.58	4.02	86.65
PORPHYRY GRANODIORITE	55.64	1.63	2.03	91.59

Tabla 7. Valores promedio, de la data registrada de la Campaña de Perforación Geotécnica de 2021.

5.1 Análisis Estructural

El macizo rocoso expuesto en el tajo Botija, presenta una marcada diaclasa. La orientación de las diaclasas, es razonablemente consistente en cada dominio, pero varía significativamente cerca de las zonas de falla. Se llevó a cabo un proyecto de mapeo en el tajo Botija con Sirovision, Maptek y Field Mapping, y se midieron más de 3 000 diaclasas en los dos tipos de roca principales: granodiorita y andesita. Estos datos de diaclasas se representaron gráficamente, en un estereograma, utilizando Dips de Rocscience para comprender las orientaciones de diaclasas predominantes en el tajo Botija. El estereograma generado para todos los datos, se puede ver en la Figura 13. El conjunto de datos para todo el tajo, revela cinco conjuntos principales de diaclasas. La mayoría de las estructuras se inclinan hacia el norte, con un rango de 340° a 030°, con grados variables de moderados a empinados. Estas estructuras tienen el potencial de causar deslizamientos planos y en cuña en las paredes del tajo orientadas al norte.

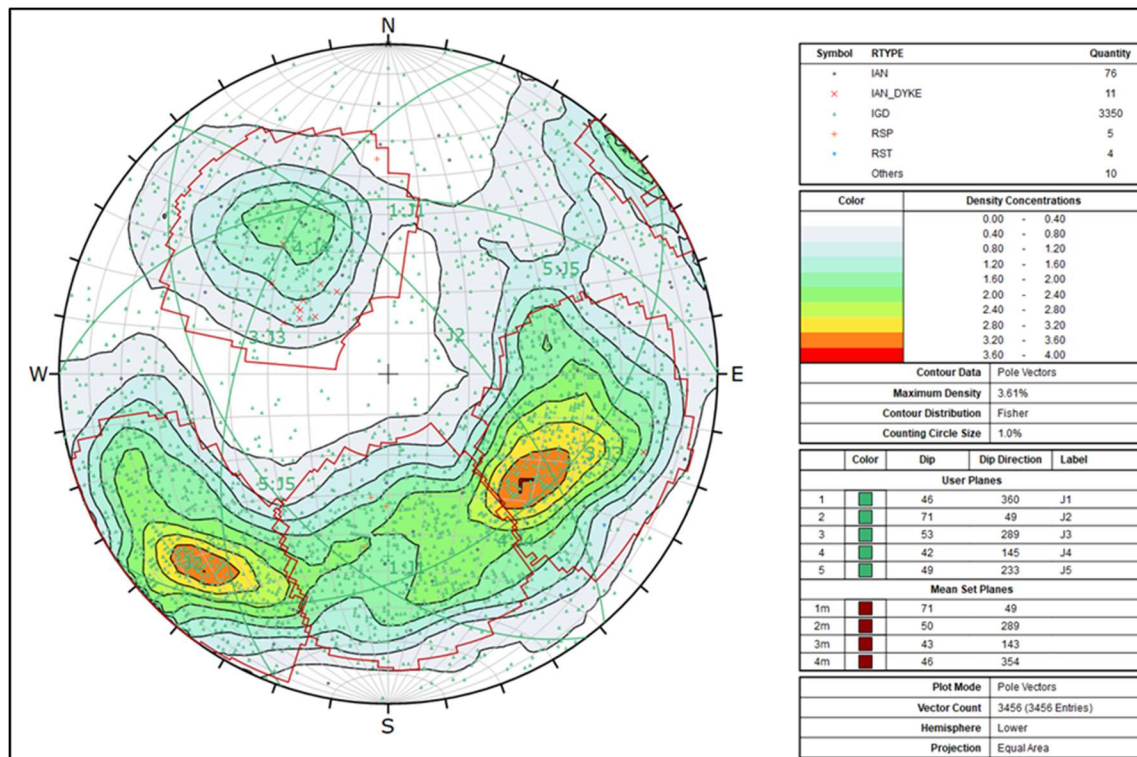


Figura 13. Estereograma de juntas, recopiladas en el tajo Botija. MPSA.

5.2 Régimen de Estrés Regional e In- Situ

Confiando únicamente en el peso de la gravedad y no en el estrés tectónico, las tensiones aplicadas al suelo en dirección vertical y horizontal son las siguientes:

Ecuación 1: Estrés vertical σ_v , como función de la profundidad (h) y densidad (γ).

$$\sigma_v = \gamma h$$

Ecuación 2: Estrés horizontal σ_h , como función de estrés vertical y radio de Poisson ν .

$$\sigma_h = \sigma_v \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)$$

5.3 Sismicidad

El Istmo de Panamá se ubica en una micro placa tectónica, conocida como el Bloque de Panamá. Esta micro placa, está rodeada por cuatro placas tectónicas principales: la placa del Caribe al norte, la placa de Cocos al suroeste, la placa de Nazca al sur y la placa Sudamericana al este y sureste.

Los niveles de actividad sísmica varían a lo largo de Panamá. La zona occidental del país, adyacente a Costa Rica, y la zona oriental, colindante con Colombia, están sujetas a una actividad sísmica severa, con frecuentes terremotos a menos de 30 kilómetros de profundidad y con registros superiores a 5.0 en la escala de Richter. Por otro lado, la zona central de Panamá, incluida la Zona del Canal, ha experimentado muy pocos terremotos, especialmente en el norte o en la costa caribeña.

Existen dos referencias importantes sobre la evaluación de la amenaza sísmica en Panamá: la Asociación de Estados del Caribe y un artículo de Camacho et al. La Asociación de Estados del Caribe proporciona un código de evaluación sísmica que define los valores de las aceleraciones máximas efectivas (A_a) y la aceleración máxima efectiva relacionada con la velocidad (A_v) para las principales ciudades. Camacho et al. Se han generado mapas de valores esperados de aceleración máxima del suelo (AMT) en sitios de suelo, para probabilidades de excedencia anuales de 0,004, 0,002 y 0,001, correspondientes a períodos de retorno de 250, 500 y 1000 años. Según Camacho et al., los valores de AMT en afloramientos rocosos pueden obtenerse multiplicando los valores tabulados por un factor de 0,76. Los valores tabulados para la aceleración máxima efectiva y la aceleración máxima del suelo se presentan en la Tabla 7.

City	Effective Peak Acceleration Coefficients		Peak Ground Accelerations ^{Note 1}		
			Annual probability		
	A_a	A_v	0.004 (ms^{-2})	0.002 (ms^{-2})	0.001 (ms^{-2})
Chorrera	0.13	0.15	2.02	2.43	2.89
Colon	0.15	0.20	2.08	2.51	2.99
Panama	0.15	0.20	2.13	2.56	3.03
Penenome	0.11	0.14	1.87	2.25	2.68
<u>Note:</u> 1. Numerical values of soil site PGA for the largest horizontal component of ground motion at 5% damping. Bedrock outcrop PGA values may be obtained by multiplying the tabulated values with a factor of 0.76 (ref. 7)					

Tabla 8. PGA y aceleraciones máximas efectivas en sitios seleccionados de Panamá.

No se han registrado mediciones significativas de aceleraciones, en la concesión de Cobre Panamá, pero se mantienen los siguientes valores para fines de diseño:

- $A_a = 0.15$
- $A_v = 0.20$
- $\text{PGA (soil)} = 2.13 \text{ ms}^{-2}$
- $\text{PGA (rock)} = 1.62 \text{ ms}^{-2}$

5.4 Limitaciones e Incertidumbre

La información recopilada a la fecha, es solo una parte del proyecto. A medida que avance la excavación y el tajo se profundice, es probable que esta información cambie. El mapeo y el monitoreo del tajo, continuarán durante todo el proceso de excavación para garantizar la precisión de los datos utilizados en los estudios.

6. DISEÑO GEOTÉCNICO

Esta sección se centra en la justificación y el análisis realizados con los datos recopilados en las campañas de perforación geotécnica, para fundamentar el método de minado y el dimensionamiento de la excavación. Los parámetros de diseño se incluyen en los trabajos de modelado. Se resumen los parámetros de perforación y voladura, ya que tienen un gran impacto en la estabilidad de los taludes. Se destacan la gestión hídrica, la infraestructura geotécnica superficial y los criterios de diseño para activos o infraestructuras externas.

6.2 Metodología de Minado

Los depósitos de Cobre Panamá, aplican a técnicas de minado de gran escala, con método convencional de minado en tajo a cielo abierto, perforación y voladura, carguío con palas y acarreo con camiones.

El minado se desarrolla con una secuencia, iniciando en el Tajo Botija, sitio de donde proviene el material estéril, utilizado para la construcción de infraestructuras en el sitio y el material mineralizado para la puesta en marcha de la planta de procesos. El procesamiento del material a gran escala, se da mediante el minado dentro de los límites del tajo y su profundización.

Basados en la experiencia y tecnologías utilizadas en otros proyectos de FQML, el proyecto incluye trituradoras primarias dentro del área del tajo, junto con sus bandas transportadoras. El material volado (primera fragmentación de la roca), se transporta mediante camiones a las instalaciones de las trituradoras primarias. Durante las primeras fases del tajo, las trituradoras primarias se ubicarán en la superficie del tajo, pero, a media que se profundice el tajo, se moverán a zonas más profundas, con el objetivo de optimizar el proceso. Las bandas transportadoras se extenderán hasta las nuevas ubicaciones, convergen en la superficie en una estación central de transferencia, descargando a un transportador que conecta con la planta de procesos.

6.3 Análisis de Estabilidad y Evaluación Geotécnica

En 2012, CNI realizó un análisis general de estabilidad de taludes, utilizando el programa de software Slope/w, que implementa el método de equilibrio límite de cortes. Este método analiza la tendencia de la masa rocosa, a desplazarse bajo la influencia de la gravedad y busca posibles fallas en el talud debido a una combinación de factores como baja resistencia de la masa rocosa, presión de poro y pendientes excesivamente pronunciadas. Los criterios de diseño seguidos eran tener un factor de seguridad (FOS) de 1.3 o mayor para áreas críticas que albergan infraestructura permanente, como el canal de desviación Botija, ubicado en la pared sur. Se utilizó un FOS mínimo de 1.2 o mayor para otras áreas. Se seleccionaron varias secciones críticas en función de la altura del talud y la mala calidad de la masa rocosa, y para

aquellas áreas que resultaron en estabilidad inadecuada, se redujeron los ángulos del talud para cumplir con los criterios de aceptación del diseño.

El diseño de talud recomendado por CNI, ha sido revisado para tener en cuenta las inestabilidades del talud en la pared sur del tajo Botija. Se han realizado modificaciones similares en otras áreas con condiciones de terreno similares. Una vez que se complete la campaña de perforación geotécnica en el tajo Botija, se llevará a cabo un análisis de estabilidad 3D utilizando datos actualizados de la masa rocosa para cada sector geotécnico. Esto nos permitirá actualizar los parámetros del talud para obtener taludes sostenibles y asegurar la seguridad.

6.4 Parámetros de Diseño de Perforación y Voladura

El objetivo de la voladura de producción en mina a cielo abierto, es producir material bien fragmentado y de fácil excavación. La energía necesaria para la fragmentación de la roca puede tener un efecto perjudicial en las paredes finales del tajo, debido a la transferencia de energía hacia la pared, que se produce durante las voladuras cercanas al límite de diseño del tajo. Se deben tomar medidas para garantizar que el riesgo para las paredes finales del tajo se mitigue. Todos los diseños geotécnicos de optimización de paredes finales del tajo, asumen que se aplicarán voladuras controladas, para minimizar el daño a las paredes y permitir alcanzar los diseños propuestos. En la mayoría de los casos, la mitigación toma la forma de voladuras de pre corte. Estos enfoques controlan los efectos de la voladura, de modo que se mantiene la resistencia inherente de las paredes del tajo y no se dañan.

Un sistema de voladura consistente y eficiente que cumpla con todos los requisitos mencionados, debe presentar los siguientes componentes:

- Voladura de pre-corte, que se aplique en el límite de la pared final del tajo y para cualquier pared interina que permanezca por tres (3) años o más. Esta voladura debe realizarse antes de la voladura de producción, para obtener la máxima efectividad.
- Voladura de producción, diseñada para asegurar buena fragmentación y excavación, que resulte en bancos limpios a partir de la cresta de diseño.
- Estrategia de excavación, en la que se deje una cara abierta y bordo uniforme, para las voladuras de control de paredes, ya sea producción combinada o “buffer” (amortiguación). Asegurarse de limpiar cualquier material volado y crear la cara libre, antes de la voladura.
- Diseños de voladuras de control de paredes, con factor de carga adecuado, mínimo de tres filas, proporción adecuada de bordo y espaciamiento.
- En el caso de una voladura de producción combinada, las filas (mínimo cuatro), que siguen a la línea de pre-corte, deben ser de diámetro pequeño, con un factor de carga adecuado para no dañar la pared final.
- Limpieza adecuada de las paredes finales (perfilado), utilizando una excavadora pequeña, una vez que la pala principal haya excavado más de la mitad del patrón de voladura controlada.

La Tabla 8, proporciona un resumen de los parámetros de diseño de pre-corte, aplicados en Cobre Panamá. Se utilizan tres diámetros de pre-corte diferentes. La selección de cada diámetro, se basa en los siguientes criterios:

- 229 mm: utilizado para paredes temporales, principalmente en el corte Norte del Tajo Botija, perforado verticalmente y a una separación mayor.
- 140 mm: utilizado para todas las paredes finales del tajo Botija, perforado a un BFA especificado de acuerdo al sector del tajo, con una separación correspondiente a la resistencia de la masa rocosa de cada sector geotécnico.
- 115 mm: utilizado en áreas de alto riesgo geotécnico, debido a la presencia de estructuras adversas y masa rocosa débil.

Sector/ Design	P-SPLIT BLAST HOLES											
	Sector Properties			Presplit Design								
	UCS	RQD	BFA (°)	Blasthole Diameter [mm]	Sub-drill [m]	Hole Angle (°)	Explosives Diameter [mm]	Explosives (kg)	Air deck [m]	Blasthole Pressure [Mpa]	Spacing [m]	Power Factor [kg/m2]
Sector 1 (N)	95	45	75	229	0.5	0	38	16.8	2.5	57	2.4	0.50
Sector 2 (NE)	112	65	75									
Sector 3 (SE)	90	45	65	140	0.5	15	32	8.2	5.2	64	1.0	0.50
Sector 4 (S)	120	65	75					12.0	4.0	115	1.5	0.51
Sector 5 (SW)	98	60	75					10.2	5.0	97	1.5	0.45
Sector 6 (NW)	97	45	75									
Botija 115mm*	95	60	75	115	0.5	0	25	6.4	4.5	94	1.2	0.34
Colina 140 mm**	110	71	75	140	0.5	15	25	7.6	3.5	63	1.0	0.49
Colina 115mm	110	71	75	115	0.5	30	25	8.4	4.5	96	1.0	0.45

*Botija 115mm – Temporary design in selective areas
 ** Colina 140mm – Actual Design from buffer areas in Colina Boxcut pit.

Tabla 9. Parámetros para diseño de pre-cortes de Cobre Panamá.

En CP, la metodología utilizada para el control de voladuras en las paredes consiste principalmente en el enfoque de voladura de producción combinada, para prevenir daños en la pared final, debido a las explosiones. Dependiendo de la complejidad geotécnica, el diseño de la voladura puede variar, con tres o cuatro filas de barrenos de pequeño diámetro (típicamente 140 mm/165 mm), perforados la línea del pre-corte, seguidos por perforaciones de producción de 251 mm. Los detalles de una voladura combinada común se proporcionan en la Figura 14.

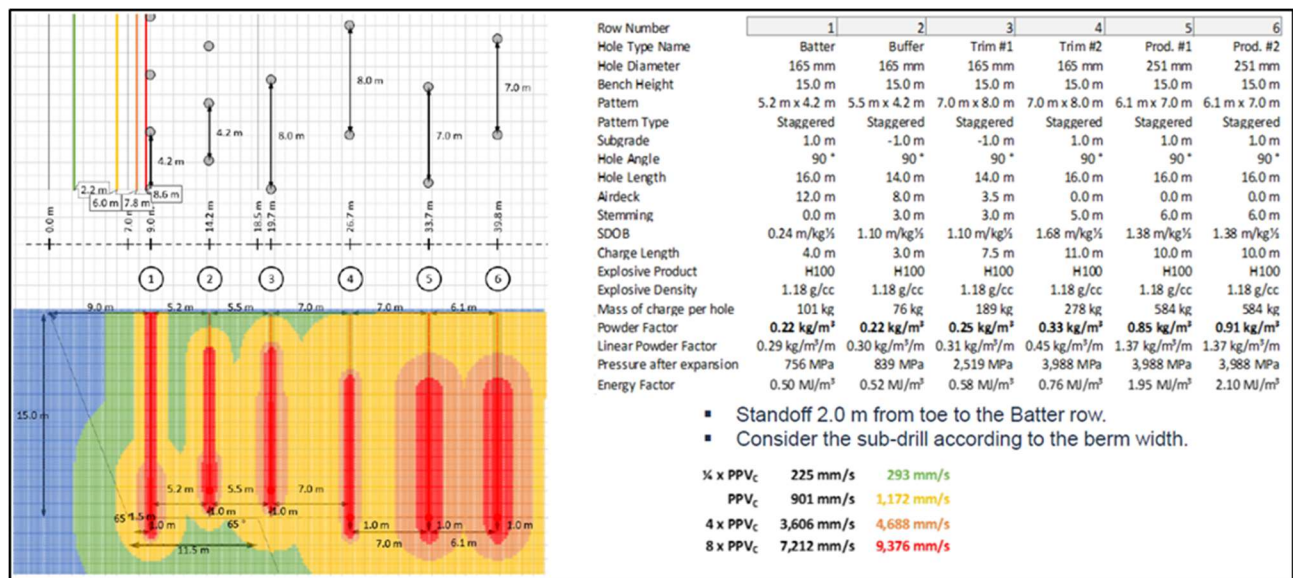


Figura 14. Parámetros de diseño de voladura de producción combinada. MPSA.

En fase de Operaciones, las voladuras se anuncian 24 horas antes. El equipo de Perforación y Voladura, emitía un comunicado, que incluía información relevante:

- Nombre del patrón.
- Hora de la voladura.
- Radio de influencia para personal y equipos.
- Áreas cercanas al radio de influencia de la voladura. comunicado se emite a todos los correos de Cobre Panamá.
- Caminos a cerrar, para prevenir el acceso durante la voladura.

El comunicado se envía a todos los colaboradores de Cobre Panamá, contratistas, equipo de Centro de Control y Relaciones Comunitarias, para que la información sea distribuida en las comunidades cercanas a las voladuras, como el caso de las voladuras, realizadas en la zona Este del Tajo Botija.

En cuanto a las autoridades competentes, las voladuras son debidamente comunicadas al Departamento de Explosivos y Materiales Peligrosos, de la Policía Nacional de Panamá.

En cada patrón cargado de explosivos, permanecen representantes del Departamento de Explosivos y Materiales Peligrosos, supervisando la zona, para garantizar la seguridad de los trabajadores y miembros de comunidades cercanas al proyecto.

6.5 Diseño de Acopios de Material Estéril

CP cuenta con tres acopios de material estéril en desarrollo, que están ubicados alrededor de los tajos Botija y Colina (Figura 15). Los tres acopios, siguen una metodología de construcción de abajo hacia arriba y están contruidos con una mezcla de saprolita y roca no mineralizada. La geometría del diseño del acopio, sigue un perfil de recuperación ambiental de 1:2.5 (V:H), para apoyar la capacidad de revegetación sostenible según el ESIA. Los parámetros de diseño del acopio, se muestran en la Tabla 9.

Se realizó una investigación geotécnica del sitio y un posterior análisis de estabilidad para áreas críticas potenciales por CNI en 2015, para el área de huella del acopio de Botija. Todas las secciones que se analizaron para cumplir con los criterios de aceptación del diseño (DAC), para un factor de seguridad mínimo de 1.3, estaban principalmente relacionadas con el ángulo entre pila (ISA) de las pendientes generales del acopio. Sin embargo, la configuración de la pendiente adoptada, debido a los requisitos de rehabilitación, ha resultado en un ISA notablemente más bajo que aquellos analizados con estabilidad adecuada según el DAC.

Dada la geometría general del acopio, con pendientes suaves, su material de fundación, el tipo de material de relleno y todos los factores relevantes que podrían potencialmente afectar la estabilidad, es menos probable que ocurra una inestabilidad a gran escala en el acopio. Pueden ocurrir inestabilidades localizadas, a nivel de banco, debido a lluvias intensas que causan erosión en las caras. Además, la presión de poro puede acumularse en áreas tributarias dentro de la huella del acopio. Ambos problemas se controlan, mediante una adecuada gestión de aguas superficiales y la instalación de drenajes, durante la etapa de construcción, respectivamente.

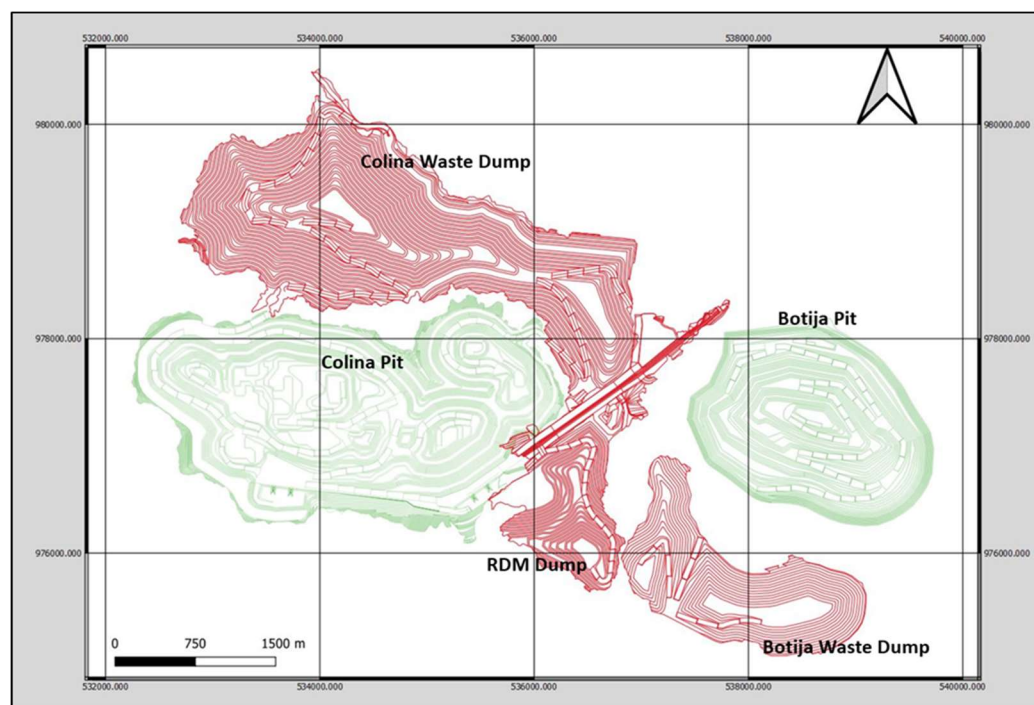


Figura 15. Diseño de los acopios de material estéril, de los tajos Botija y Colina. MPSA.

Parameter	Value & UoM	Explanation
Final Surface		
Slope Face Angle	1 : 2.5	1:2.5 was considered operationally achievable and there are slopes on the dump to support this thinking. This results as more capacity than 1:3 slope face angle.
Lift Height	40m	40m was chosen based on the hydroseeding machinery at site. Effective pumping range is 20m down and 15 meters up. It is considered that a flitch of 20m can be rehabilitated from above and below and the second 20m flitch can be sprayed from above.
Berm Width	8m	5m allowance for the hydroseeding truck (truck 2.5m wide), 3m reserved for a drainage channel. Drainage channel is considered temporary. Berm is considered necessary to be able to catch and divert drainage water from the bench to the channel as long as hydroseed roots in sufficiently.
Saprolite Thickness	1m	As per the Commitment #13251 EsIA Category III MPSA, saprolite thickness in the final waste dump surface should be 3m. It has been argued that this thickness both is not practical to put in place and neither necessary. 1m layer is adopted as operationally achievable and based on successfully rehabilitated slopes on the lower parts of BSWD. In November it is still to be agreed with authorities as to what layer thickness will be official.
Ramp Width	45m	Assumed ramp with one-lane trolley.
Ramp Curve Inside Radius	250m	Agree with operations as the minimum operationally feasible turning radius.
Drainage Ramp Width	15m	Drainage ramp on the final surface of the dump. Allowance for a water channel, 740 traffic and a safety berm. Channel widths are discussed in more detail in the hydrological modeling section.
Drainage Ramp Inclination	Less than 20%	Observed maximum inclination without spilling material from dump body. Maximum slope need to be confirmed with hydrology.
Operational Parameters		
Slope Face Angle	37°	Field observation, agreed with geotech.
Lift Height - Saprolite, Saprock	10m	There are several occurrences of lift toe failing when water is added with lift heights greater than 10m. Even slopes with less than 10m of height remain more stable if they are armoured with run of mine fresh waste.
Lift Height - Fresh Waste	10m - 20m	20m operationally achievable (observed in the field). Designs will have 10m markers on them in case of situations where 10m - 20m is temporary required.
Berm Width - Saprolite	15.73m	10m lift height
Berm Width - Fresh Waste	27.46m	20m lift height

Tabla 10. Parámetros de diseño de acopios de material estéril, para operación y rehabilitación. MPSA.

Se realizó una evaluación de clasificación de estabilidad y peligros para el acopio de Colina, que es el más grande por capacidad de volumen. La evaluación se llevó a cabo, de acuerdo con los criterios y estándares de "Diseño de Acopio de Material Estéril de Mina, LOP". El sistema requiere la evaluación de 22 factores clave, que se cree afectan la estabilidad y se organizan en siete grupos. Se asigna un valor numérico a cada factor y la suma de estos valores determina la clasificación de estabilidad, que puede variar de 0 a 100. Un valor más alto indica una configuración más estable.

Según el sistema de clasificación, el acopio de Colina se considera un peligro moderadamente inestable, con una clasificación total de 44 (Figura 16). Esta clasificación se debe a los altos niveles de precipitación anual y a la fundación del acopio, que está compuesta de saprolita y puede llevar a problemas de presión de poro. Para garantizar la seguridad, las áreas críticas del botadero se examinarán a fondo para evaluar el impacto de estos factores. Esta evaluación también se extenderá a los acopios de Botija, con un análisis adicional de factores que tengan puntuaciones bajas.

<i>Waste dump and stockpile stability rating summary</i>			
Engineering Geology Index (EGI)	Regional Setting	Description	Very Adverse
		Rating	1
	Foundation Conditions	Description	Poor
		Rating	8
	Material Quality	Description	Poor
		Rating	6
Design and Performance Index (DPI)	Geometry and Mass	Description	Medium
		Rating	6
	Stability Analysis	Description	
		Rating	5
	Construction	Description	Favourable
		Rating	11
	Performance	Description	Fair
		Rating	7.5
	Engineering Geology Index (EGI)		15
	Design and Performance Index (DPI)		30
	WSR		44

Figura 16. Evaluación de estabilidad y riesgos, del acopio de material estéril de Colina. MPSA.

6.6 Hidrogeología y Aguas Superficiales

La gestión de aguas superficiales y subterráneas, es llevada por el Departamento de Hidrogeología de CP.

El sitio está formado por rocas cristalinas de baja porosidad. Las zonas de fallas geológicas y las fracturas de la roca, producen retención de agua filtrada en el lecho de roca.

Análisis geotécnicos han demostrados que los taludes del tajo Botija, son sensibles a las variaciones de la presión de poro.

Se cuenta en sitio, con una red de piezómetros de cuerda vibrante, de la empresa RST, con el objetivo de monitorear presión de poro y nivel de agua en cada sensor.

Adicionalmente el equipo de Hidrogeología, realiza campañas de perforación de pozos horizontales, con el objetivo de despresurizar la roca, en zonas con alta infiltración de agua.

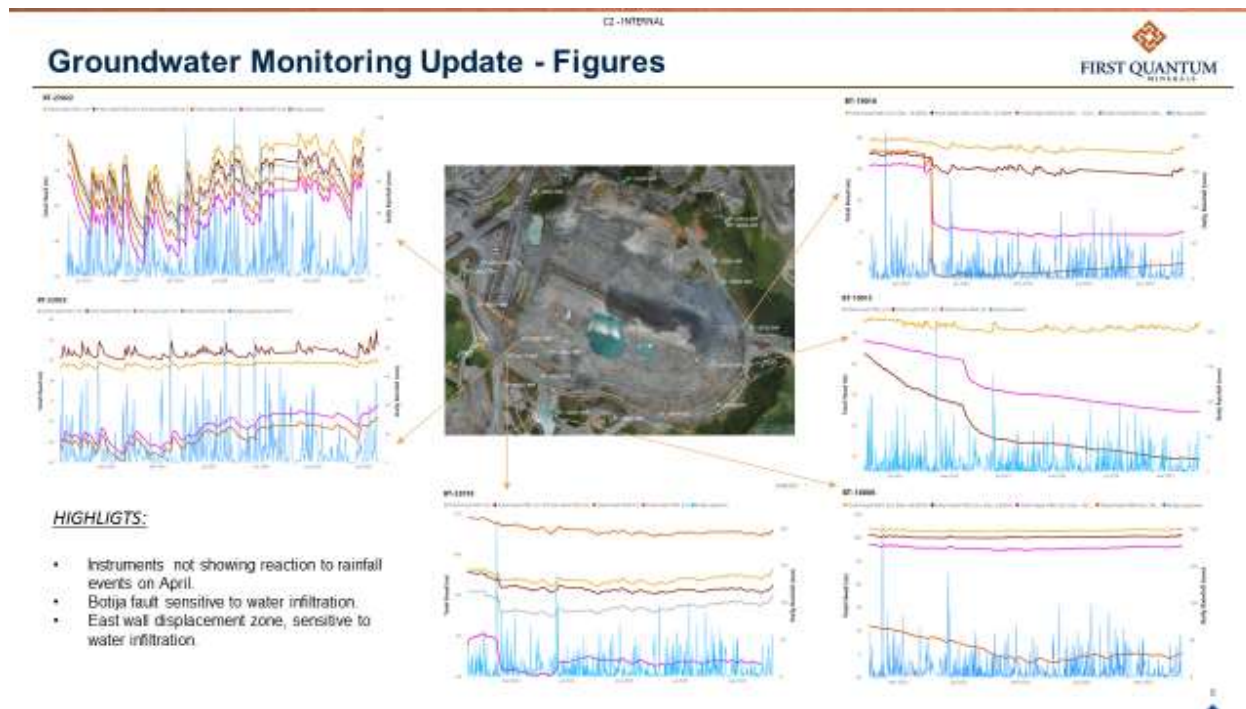


Figura 17. Reporte mensual de piezómetros de Cobre Panamá, del mes de abril de 2025. MPSA.

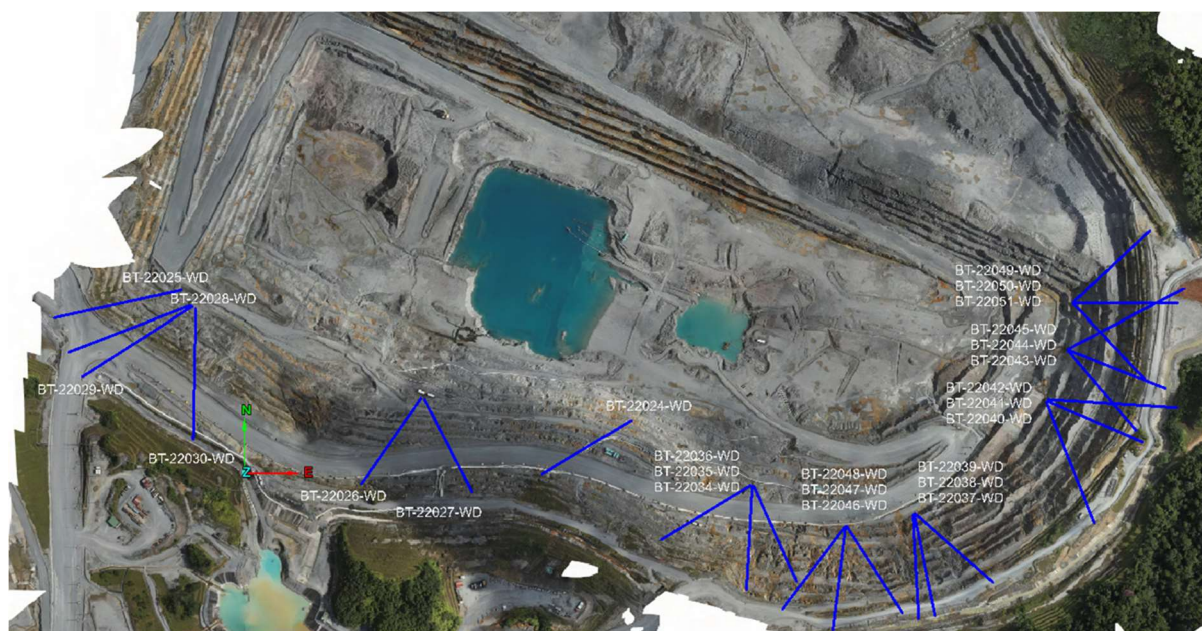


Figura 18. Campaña de perforación de pozos de despresurización, realizada entre 2022 y 2023, en secciones críticas del tajo Botija. MPSA.

6.7 Diseño de Soporte de Terreno

Se implementa soporte lateral de terreno para los “bolsillos” de las trituradoras primarias del Botija y Colina. Durante la fase de operación, el tajo Botija tuvo cuatro trituradoras primarias operativas, que fueron construidas en 2016, mientras que dos se encontraban en fase de construcción en el tajo Colina. El soporte de terreno consiste principalmente en una configuración de pernos de cable pasivos, con una malla metálica cubierta por una capa de concreto proyectado a lo largo de las paredes de los bolsillos. Las bandas transportadoras están cubiertas por una malla metálica para controlar los peligros de caída de rocas.

El diseño de soporte, considera un Factor de Seguridad (FoS) de al menos 1.3 y una Probabilidad de Falla (PoF) superior al 5%. El estudio incluye los siguientes aspectos:

- Un modelo geotécnico de la masa rocosa y las condiciones estructurales cerca de las excavaciones de “bolsillo” de trituradoras primarias.
- Evaluación de estabilidad cinemática, incluyendo los principales conjuntos de fallas y estructuras de falla discretas.
- Análisis del diseño de soporte que determina la distancia máxima detrás de la cresta para cada combinación de deslizamiento planar y de cuña; especificando los requisitos de anclaje de roca para soportar la mayor combinación de carga.
- Las cargas del camión y las cargas sísmicas.

6.6 Riesgo Clave o Crítico Identificado como Parte del Diseño

Las bermas geotécnicas, son esenciales para evitar cualquier incidente, accidente o pérdida de tiempo en la operación. Estas bermas deben mantenerse y el acceso a ellas nunca debe interrumpirse.

Las fallas están presentes en el tajo. El diseño siempre debe encontrar las bermas de manera perpendicular. Se debe evitar mantener áreas de roca no confinada, ya que puede desencadenar inestabilidad local.

6.7 Enfoque de Riesgo a Corto y Largo Plazo

Las condiciones geotécnicas observadas durante la excavación, el desempeño de las paredes finales y las restricciones geotécnicas necesarias, se discuten y tienen en cuenta durante la planificación anual. El diseño está sujeto a cambios a medida que aumenta el conocimiento geotécnico.

6.8 Proceso de Aprobación

Cada diseño, antes de ser implementado, debe ser revisado por el departamento geotécnico para asegurarse de que no se generará ningún peligro geotécnico y que se mitigarán los peligros geotécnicos existentes.

7. IMPLEMENTACIÓN Y GESTIÓN DE LAS CONDICIONES DEL TERRENO

El enfoque principal de esta sección, es dar a los lectores, una idea del tipo de controles de terreno, aplicados en CP. La primera sección se centra en el control administrativo existente y la segunda en el trabajo de campo asociado con el control de terreno.

7.1 Procedimientos Operativos Estándar Geotécnicos

La implementación del Plan de Monitoreo de Estabilidad de Suelos, se realiza en diferentes áreas de la gestión geotécnica, de acuerdo con los siguientes SOP, que se encuentran en el Anexo I.

- Trabajos cerca de paredes altas y perfilado de paredes.
- Procedimiento de perfilado de paredes y liberación.
- Procedimiento de instalación de soporte de terreno.
- Procedimiento de monitoreo de prismas.
- Procedimiento de monitoreo de radar geotécnico.
- Protocolo de prueba de carga puntual.
- Plan de respuesta a acciones desencadenantes.
- Plan de respuesta de emergencias.

A medida que la mina se planifica y opera en diferentes fases, las áreas de gestión geotécnica también tienen diferentes fases de implementación, estando todas en marcha a medida que la mina se vuelve operativa.

Si un trabajo se planifica bajo condiciones específicas, no cubiertas por los procedimientos o que tienen un riesgo elevado, se realiza un análisis de seguridad de manera conjunta entre ingeniería, el supervisor de la mina y los trabajadores involucrados.

Las actividades geotécnicas o actividades generales con restricciones geotécnicas siguen procedimientos específicos según su naturaleza y severidad. Diferentes áreas juegan diferentes roles en cada procedimiento según la actividad geotécnica.

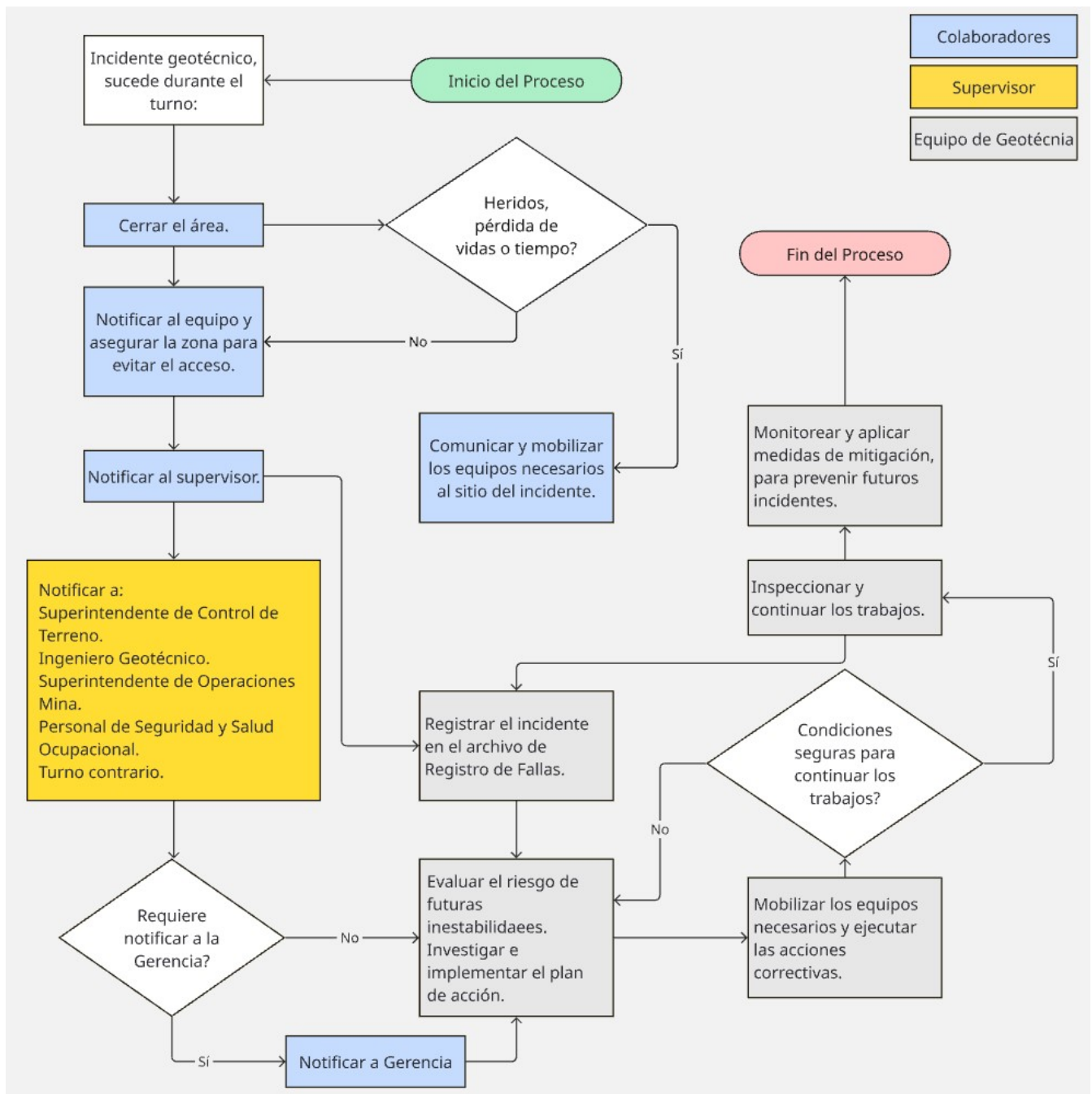


Figura 19. Procedimiento a seguir, en caso de incidente geotécnico. MPSA.

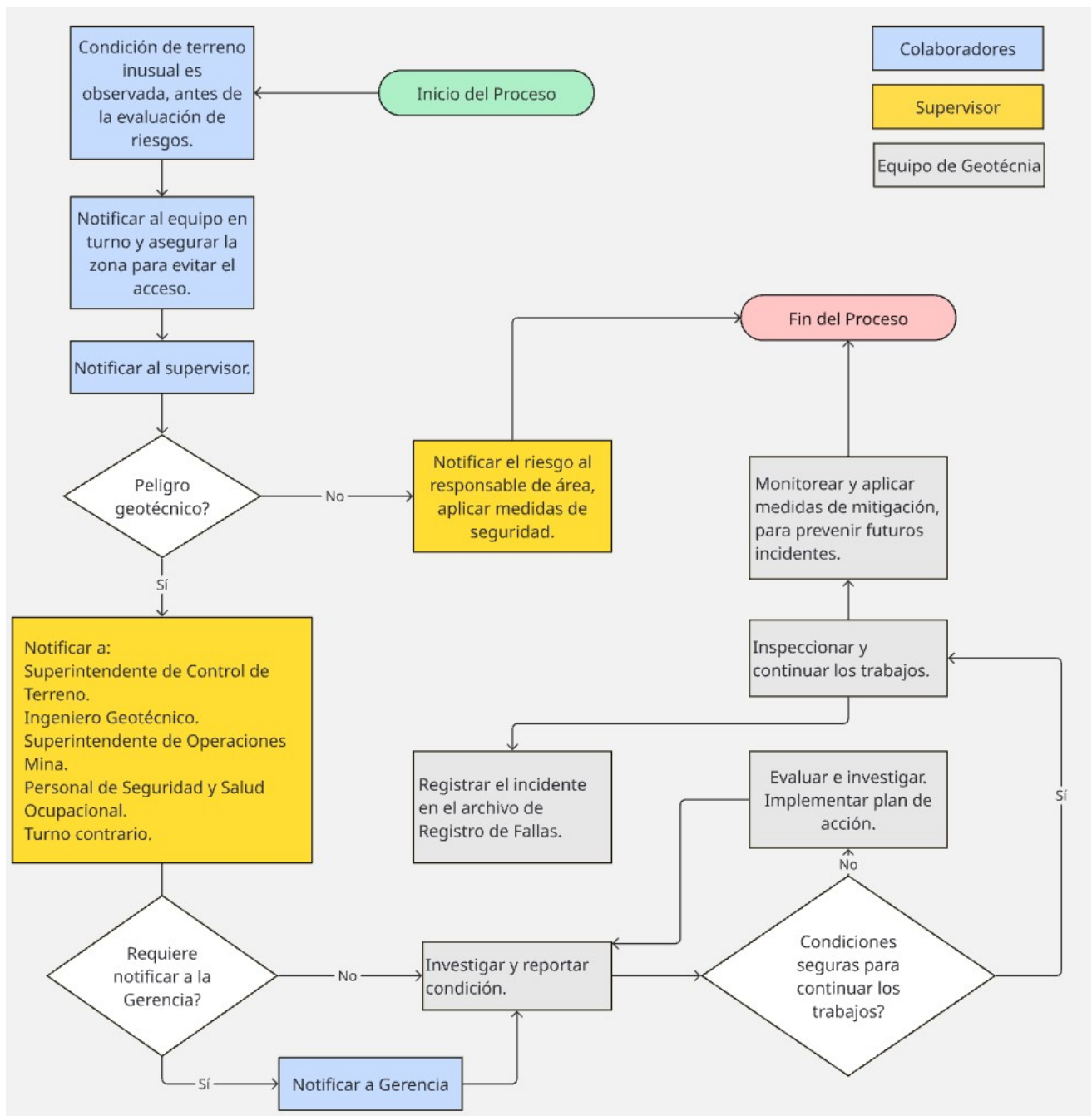


Figura 20. Procedimiento a seguir, en caso de riesgo geotécnico. MPSA.

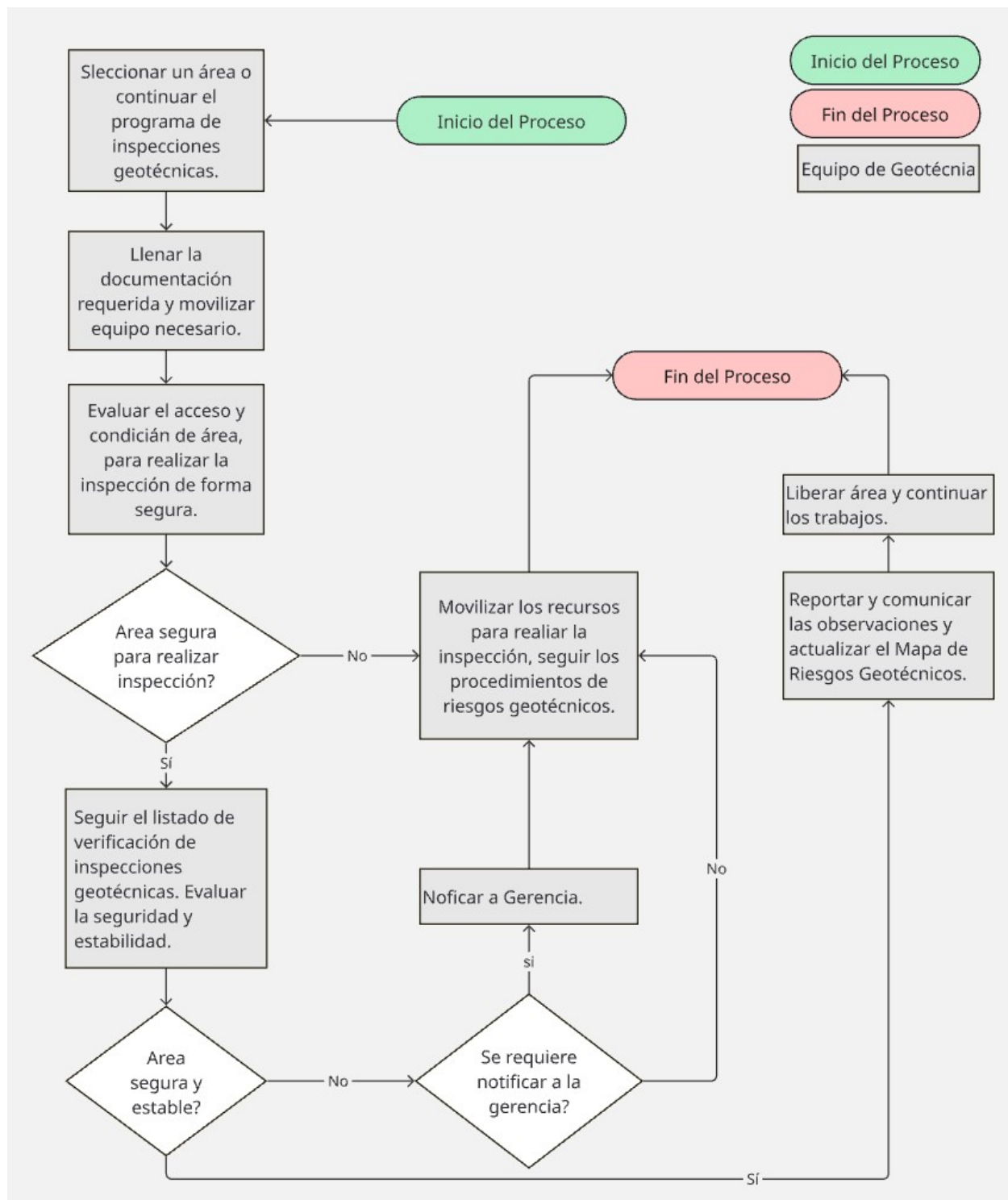


Figura 21. Procedimiento a seguir, para realizar inspecciones geotécnicas. MPSA.

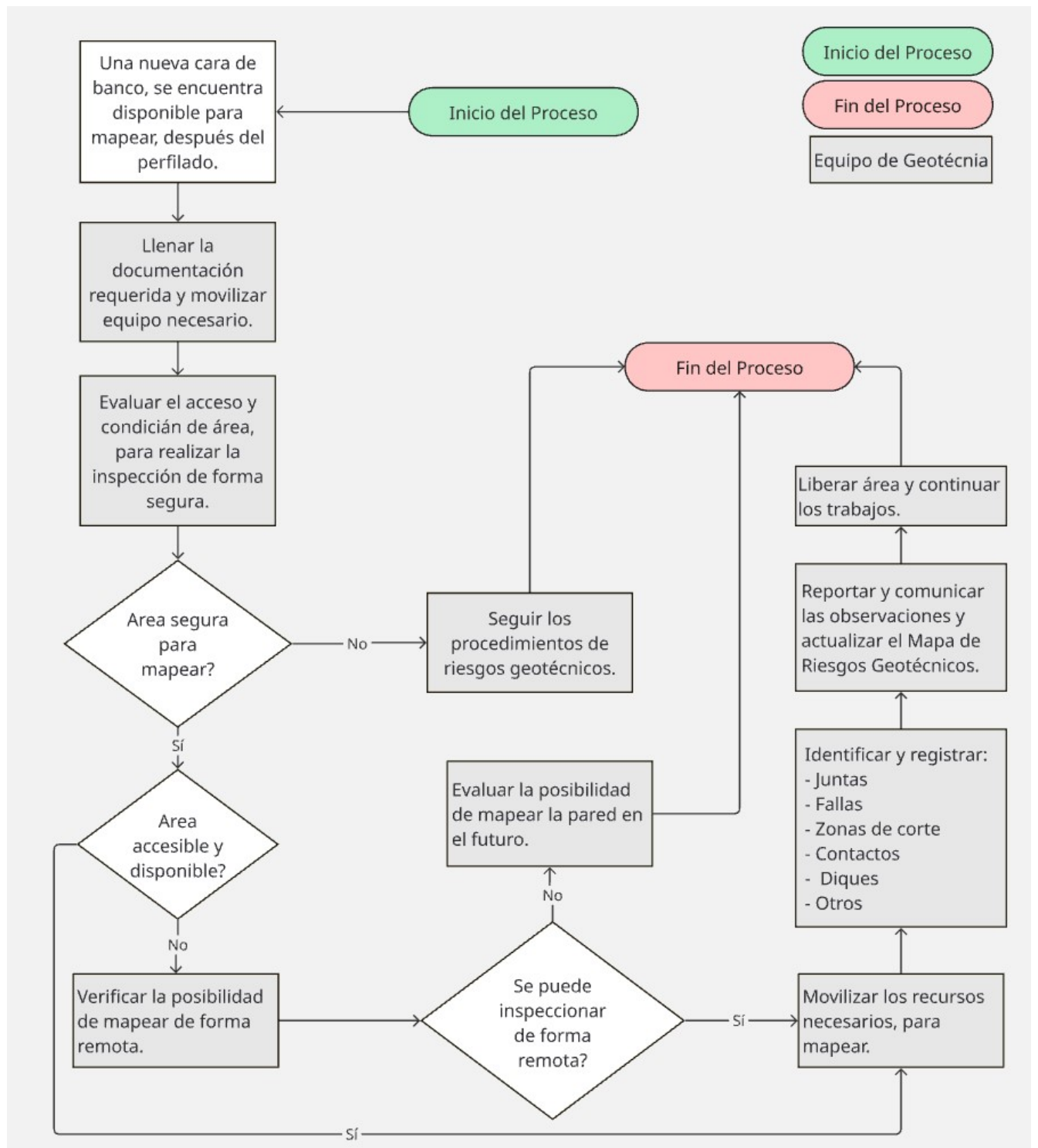


Figura 22. Procedimiento a seguir, para mapeo geotécnico. MPSA.

7.1.1 Programa de Perfilado y Liberación de Patrones

El perfilado continuo, es una parte integral de la seguridad en la mina. El operador de la excavadora debe asegurarse de trabajar cerca de una superficie previamente perfilada. El perfilado se lleva a cabo, de acuerdo con el procedimiento " Trabajos cerca de paredes altas y perfilado de paredes".

Los objetivos de este procedimiento son:

- Definir los peligros potenciales asociados a paredes altas.
- Especificar el procedimiento de precaución, para salvaguardar al personal que trabaja cerca de paredes altas.
- Minimizar el riesgo de lesiones personales o daños a equipos al trabajar cerca de paredes altas.

7.1.2 Procedimientos de Instalación de Soporte de Terreno

Se ha implementado un procedimiento para registrar la instalación de soporte de terreno, proporcionado por SRK Consultores. Sirve como una guía de QAQC, para la construcción de dos bolsillos de trituradoras en la mina Colina. Se enfoca en los siguientes aspectos:

- Control de documentos de calidad.
- Inspección de campo que detalla, características geométricas, fallas o zonas de corte, entrada de agua e instalación del soporte según las ubicaciones de diseño.
- Condición del concreto proyectado y aplicación adecuada.
- Diseño y especificaciones de pernos.
- Instalación de malla metálica.

7.1.3 Programas de Mantenimiento de Control (Rehabilitaciones)

El equipo de Geotécnia, realiza la liberación de las paredes finales y temporales de los tajos, junto con las plataformas de los acopios de material estéril. Se evalúa el cumplimiento geométrico, condición y estabilidad de los bancos. Una vez liberada la zona, se comunica y se entrega al Departamento de Ambiente.

El Departamento de Ambiente, ha creado un plan para rehabilitar los acopios de material estéril, con insumos geotécnicos para asegurar su estabilidad general. El departamento ambiental supervisa el proceso de construcción, mientras que el departamento geotécnico es responsable de garantizar que se siga el perfil de pendiente acordado.

7.1.4 Plan de Respuesta a Acciones Desencadenantes (TARP)

Se ha desarrollado un sistema TARP, para el tajo Botija, que utiliza datos en tiempo real de desplazamiento y lluvia, adquiridos por el radar de taludes IBIS ArcSAR. El sistema se comunica directamente con Operaciones Mina, a través de Despacho de Mina, basado en valores de umbral activados. El TARP se actualiza cada vez que el radar de taludes se reubica en una nueva posición según el área de cobertura nueva. A medida que el radar mide el desplazamiento 2D hacia o desde el sensor del radar, la línea de visión y el ángulo de visión, se vuelven cruciales para establecer valores de umbral apropiados. La tabla a continuación proporciona diferentes valores de umbral adecuados para la condición de la masa rocosa en la mina Botija, para una cara perpendicular. Las caras de la mina que no son perpendiculares a la ubicación del radar, pero están dentro de la cobertura, se les asignan valores de umbral más altos según el ángulo de vista.

El TARP consta de 4 niveles, cada uno representando un aumento en el peligro del terreno y tiene el siguiente significado:

VERDE: Operación normal, sin riesgo.

Acciones: mantener operaciones, sin restricciones en trabajos debido a fuertes lluvias.

AMARILLO: Desarrollo temprano del movimiento del talud, bajo riesgo.

Acciones: equipo de Despacho de Mina, equipo de Geotecnia, Supervisores de Turno, Coordinadores, Superintendentes y Gerentes de Operaciones Mina y Servicios Técnicos de Mina, reciben un correo con el título “Alarma Nivel 2”. Dentro del correo, se encuentra una imagen de la ubicación de la zona. Despacho Mina y Geotecnia, mantienen pantallas donde se activan las alarmas en tiempo real. El equipo de Despacho Mina, informa por radio la Alarma Nivel 2 y su ubicación, con el objetivo de comunicar el desplazamiento. Se mantienen las operaciones, sin restricciones en trabajos debido a fuertes lluvias. Equipo de Geotecnia debe estar atento a cambios en tendencias de desplazamiento mostradas en el radar y realizar inspección de campo para identificar la zona de desplazamiento y verificar la condición de la cara del banco.

NARANJA: Movimiento del talud de escala razonable, riesgo moderado.

Acciones: equipo de Despacho de Mina, equipo de Geotecnia, Supervisores de Turno, Coordinadores, Superintendentes y Gerentes de Operaciones Mina y Servicios Técnicos de Mina, reciben un correo con el título “Alarma Nivel 3”. Dentro del correo, se encuentra una imagen de la ubicación de la zona. Despacho Mina y Geotecnia, mantienen pantallas donde se activan las alarmas en tiempo real. El equipo de Despacho Mina, informa por radio la Alarma Nivel 3 y su ubicación, con el objetivo de comunicar el desplazamiento. El equipo de Geotecnia debe dirigirse de inmediato a la ubicación del desplazamiento, junto con el Supervisor de Turno y Superintendente de Mina, para llevar a cabo una evaluación de riesgos. Las acciones sugeridas por parte de Geotecnia, pueden incluir:

- Continuar con las actividades.
- Delimitación de áreas con conos.

- Suspensión de actividades durante periodos de lluvias y trabajos en turno de noche.

Criterios de suspensión de actividades:

1. Activación de alarma Nivel 3, con 75mm o más, de lluvia acumulada, en un periodo de 24 horas.
2. Pérdida de conexión con el radar de monitoreo geotécnico, luego de la activación de alarma Nivel 3.
3. Las zonas con desplazamientos acelerados, requieren monitoreo en tiempo real, como medida de manejo de riesgos.
3. Aparición de nuevas grietas en tensión.
4. Trabajos cercanos a la zona de desplazamiento, en turno de noche.

ROJO: Movimiento del talud de escala significativa, alto riesgo.

Acciones: equipo de Despacho de Mina, equipo de Geotecnia, Supervisores de Turno, Coordinadores, Superintendentes y Gerentes de Operaciones Mina y Servicios Técnicos de Mina, reciben un correo con el título “Alarma Nivel 4”. Dentro del correo, se encuentra una imagen de la ubicación de la zona. Despacho Mina y Geotecnia, mantienen pantallas donde se activan las alarmas en tiempo real. El equipo de Despacho Mina, informa por radio la Alarma Nivel 4 y su ubicación, con el objetivo de comunicar el desplazamiento y evitar el tránsito por la zona. El equipo de Geotecnia debe dirigirse de inmediato a la ubicación del desplazamiento, junto con el Supervisor de Turno y Superintendente de Mina, para llevar a cabo una evaluación de riesgos. Las acciones sugeridas por parte de Geotecnia, pueden incluir:

- Suspensión inmediata de actividades y evacuación de la zona.
- Continuar actividades, sólo si se determina que los parámetros establecidos en la evaluación en campo, logran mitigar los riesgos de las actividades a realizar.
- Desvío de tráfico, de la zona de desplazamiento.
- Delimitación de áreas con conos.

Criterios de suspensión inmediata de actividades:

1. Activación de alarma Nivel 4, con 100mm o más de lluvia acumulada, en un periodo de 24 horas.
2. Pérdida de conexión con el radar de monitoreo geotécnico, luego de la activación de alarma Nivel 4.
4. Las zonas con desplazamientos acelerados, requieren monitoreo en tiempo real, como medida de manejo de riesgos.
3. Desplazamiento de banco o múltiples bancos.
4. Caída de rocas en la zona de desplazamiento.
5. Aparición de nuevas grietas en tensión en rampas principales de acceso.
6. Pérdida de sección de rampa de acceso.
7. Trabajos cercanos a la zona de desplazamiento, en turno de día o de noche.

El documento TARP, detalla acciones específicas para los equipos geotécnicos, de despacho y de Operaciones Mina, basado en un sistema codificado por colores que representa diferentes niveles de riesgo operativo y de seguridad, que varían desde verde hasta rojo.

Parámetros	Alerta Verde: Condición Normal	Alerta Amarilla: Fase de Respuesta y Acción	Alerta Naranja: Fase de Respuesta y Acción	Alerta Roja: Fase de Respuesta y Acción
Desplazamiento	< 7.5 mm/hr En un periodo de 3 horas.	> 7.5 mm/hr y < 12.5 mm/hr En un periodo de 3 horas.	> 12.5 mm/hr y < 17.5 mm/hr En un periodo de 3 horas.	> 17.5 mm/hr En un periodo de 3 horas.
Lluvia	< 50mm en 24 horas	> 50mm en 24 horas, con precedente de activación de alarma amarilla en las últimas 24 horas.	> 75 mm en 24 horas o > 200 mm en 7 días, con precedente de activación de alarma naranja, en las últimas 24 horas.	> 100 mm en 24 horas o > 400 mm en 7 días, con precedente de activación de alarma roja, en las últimas 24 horas.
Conexión de Red	Sin pérdida de señal	Pérdida de señal > 2 horas, con precedente de activación de alarma amarilla, en las últimas 24 horas.	Pérdida de señal > 2 horas, con precedente de activación de alarma naranja, en las últimas 24 horas.	Pérdida de señal > 2 horas, con precedente de activación de alarma roja, en las últimas 24 horas. Movilización de radar por voladura.

Tabla 11. Umbral de desplazamientos, del radar de monitoreo geotécnico del Tajo Botija y niveles de alerta. MPSA.

7.1.5 Plan de Respuesta a Emergencias (ERP)

En caso de una inestabilidad de terreno, de magnitud considerable, que requiera la evacuación del tajo Botija, el departamento de Operaciones Mina, ha elaborado un Plan de Respuesta a Emergencias (ERP). El ERP incluye un mapa que señala las ubicaciones designadas para que las personas se reúnan (Figura 23). Todas las comunicaciones y procedimientos durante el proceso de evacuación, se alinearán con las directrices establecidas en el ERP.



Figura 23. Mapa de puntos de encuentro, en caso de evacuación. MPSA.

7.2 Verificación

La verificación se refiere a las acciones requeridas para mantener el control de las condiciones geotécnicas de la mina y monitorear la estabilidad de las estructuras geotécnicas.

7.2.1 Inspección y Monitoreo

Para lograr los objetivos, el talud y la voladura deben ser validados, verificados y constantemente optimizados.

7.2.1.1 Validación y Optimización del Diseño de Pendientes

La etapa del proceso de diseño, se basa en una cantidad relativamente limitada de datos en comparación con el alcance general del proyecto. Se llevarán a cabo las actividades futuras, a medida que el minado continúe en los tajos Botija y Colina, con el objetivo de obtener información adicional.

- Realizar perforaciones adicionales de núcleo geotécnico orientado, para complementar el conjunto de datos actual, enfocándose especialmente en las paredes norte y oeste del tajo Botija y en áreas del tajo Colina, donde el minado, ocurrirá cerca del perímetro del diseño final del tajo.
- Realizar pruebas de laboratorio adicionales.
- Confirmar las suposiciones del diseño geotécnico y mejorar los diseños basándose en el mapeo continuo de las paredes del tajo y la recolección de datos geotécnicos.
- Revisar los diseños de taludes del tajo, basándose en una revisión continua del desempeño de las paredes del tajo actuales y el cumplimiento con los parámetros de diseño.

7.2.1.2 Monitoreo de Taludes

Establecer un programa de monitoreo de taludes, para desplazamientos superficiales, es crucial para monitorear la estabilidad de los taludes de rocas. La información recopilada durante las primeras etapas de minado, actúa como una línea base para identificar eventos desencadenantes y un umbral de alarma, a medida que aumentan las alturas de los taludes, se empujan las paredes y se profundiza el tajo. Los datos de movimiento también pueden ayudar a determinar la ubicación de los planos de falla y los ángulos de intersección para grandes cuñas. Mediante el monitoreo, se puede detectar el inicio del movimiento con mayor antelación, lo que permite una implementación más rápida de las estrategias de mitigación.

Los siguientes sistemas de monitoreo, de categorías que van de estratégicos a tácticos, están en funcionamiento, durante la fase de operaciones y aplican para la fase de PGS:

- Monitoreo InSAR
- Geomos: prismas y estaciones totales semi-robóticas Leica
- Radar de monitoreo geotécnico IBIS ArcSAR
- Extensómetros de estacas
- Inspecciones visuales diarias

Las diversas capas de sistemas de monitoreo implementadas en CP, están diseñadas para detectar cualquier signo temprano de desplazamiento que proporcione información valiosa sobre la magnitud y las características del movimiento. Esta información luego puede usarse para desarrollar estrategias de mitigación efectivas, asegurando que cualquier problema potencial se aborde de manera proactiva y eficiente.

Monitoreo InSAR

Desde 2022, hasta noviembre de 2023, todo el sitio mina de CP, se monitoreó utilizando la técnica de Radar de Apertura Sintética Interferométrica (InSAR), un servicio proporcionado por 3v GEOMATICS. Este sistema usa imágenes satelitales de TerraSAR-X3, para medir desplazamientos sutiles del suelo y la infraestructura. El satélite captura imágenes cada 11 días, desde perspectivas este y oeste, con una

resolución espacial de 3 metros. La calidad de los datos sobre el sitio es adecuada, pero la cobertura está limitada a áreas libres de vegetación (Figura 24).

Los datos procesados pueden accederse a través de la plataforma web Motionary, que se actualiza dos veces al mes o siempre que se adquieran nuevos datos satelitales. La plataforma tiene varias funciones para ayudar a interpretar los resultados, como tasas de desplazamiento, contornos de detección de desplazamientos y series temporales de desplazamiento. Cada vez que la plataforma recibe una actualización, esta información se comunica por correo electrónico. Los contornos de detección de áreas con probable desplazamiento, se evalúan con base en los cambios respecto a actualizaciones anteriores. Las áreas de preocupación, se analizan en detalle para evaluar el posible avance, examinando las opciones de análisis de series temporales proporcionadas por la plataforma.

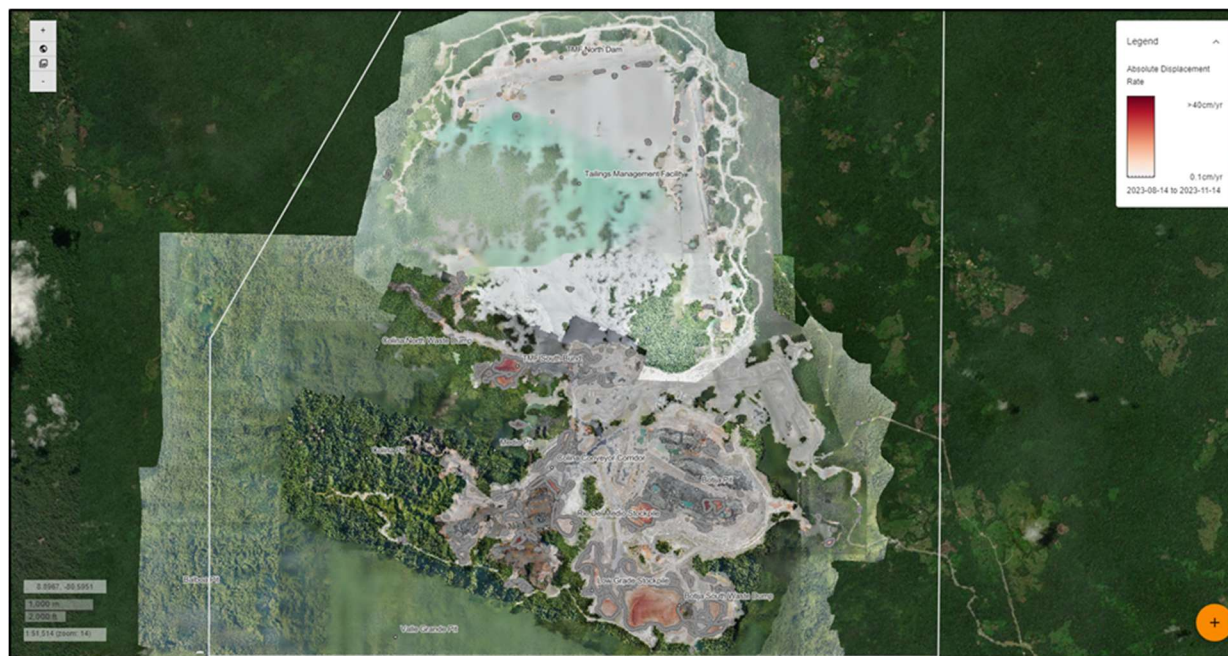


Figura 24. Cobertura del sistema InSAR, con escala de desplazamiento absoluto de 40cm/año. MPSA.

Geomos: prismas y estaciones totales semi-robóticas Leica

El tajo Botija es monitoreado utilizando dos estaciones totales semi-robóticas Leica TM60. Una está ubicada en la pared oeste y la otra en la pared norte. Estas estaciones cubren el monitoreo de prismas de toda la pared sur, pared este y las paredes del área de la trituradora de Botija, incluida la pared oeste del tajo Botija (Figura 25). Debido al cese de operaciones, se detuvo la instalación de una tercera unidad, ubicada en la pared sur, para medir los desplazamientos de los prismas instalados en la pared norte. Los prismas están dispuestos en una cuadrícula escalonada, con una altura vertical de 30 metros y una distancia horizontal de 100 metros. Se han instalado prismas Leica GPR112 en el tajo Botija, en todas las ubicaciones disponibles. Estos están montados en un poste de concreto con una varilla de acero en el

centro, que proporciona estabilidad al prisma. Las varillas provienen de las perforadoras de voladuras de producción, que han sido clasificadas como varillas de descarte.

Las lecturas se toman en intervalos de una hora y el objetivo es usar el software de análisis Geomos, para comunicar alertas de desplazamiento basadas en valores umbral predeterminados. Este proceso aún está en etapa de desarrollo, ya que el sistema ha sido instalado recientemente y requiere algunos ajustes menores para mejorar la fiabilidad de la red de monitoreo, antes de que pueda recolectar suficientes datos para determinar umbrales adecuados. Actualmente, no hay un sistema de monitoreo de prismas instalado en el tajío Colina, sin embargo, ya se han instalado prismas en la pared sureste, sobre el área de la trituradora. Dado que los taludes en Colina aún no son muy altos, no hay una necesidad urgente de monitoreo en esta etapa. Sin embargo, tan pronto como los taludes aumenten y la trituradora comience a operar en el tajío, se desplegará una nueva estación robótica para iniciar el monitoreo de la pendiente.

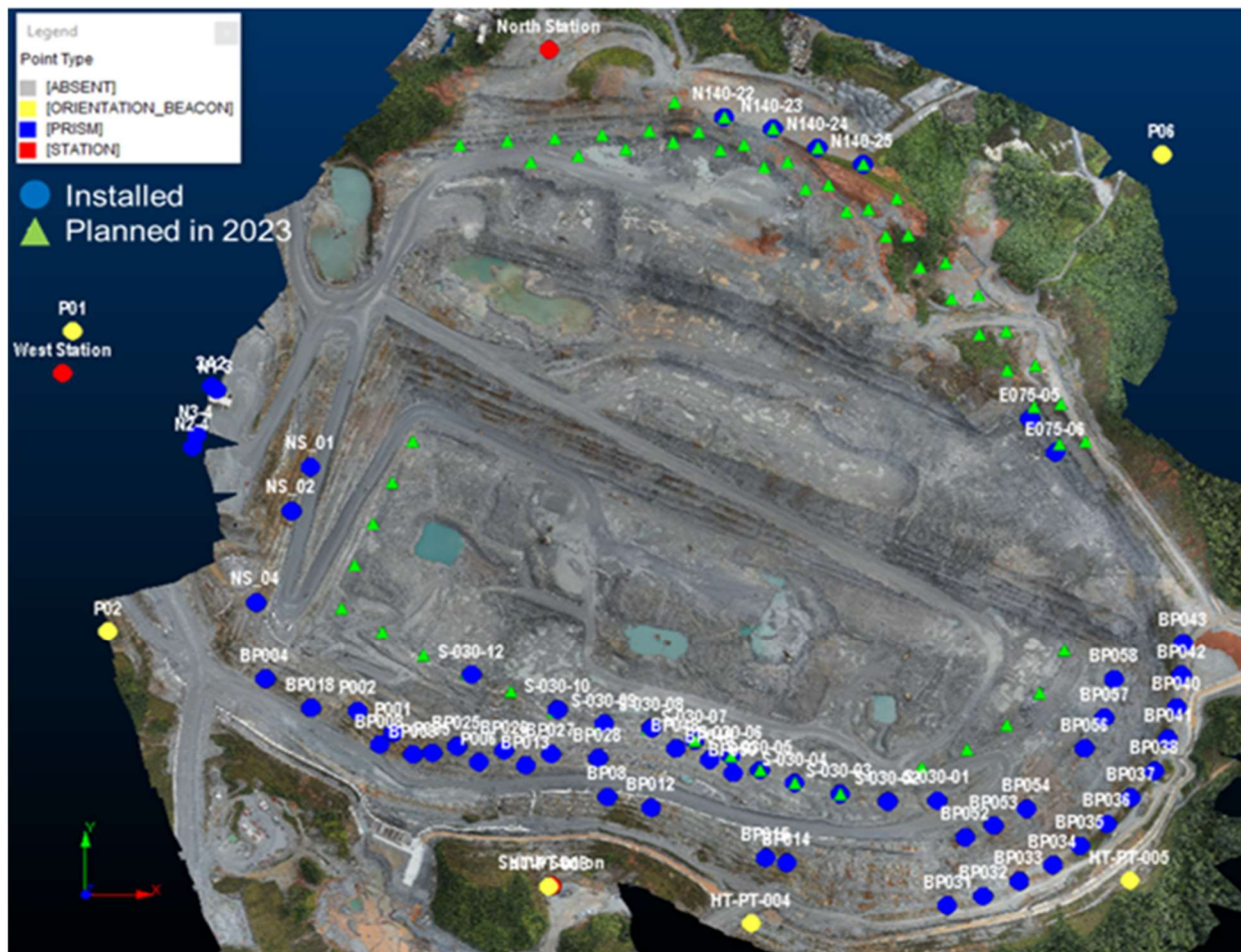


Figura 25. Sistema Geomos instalado en el tajío Botija, incluyendo prismas, estaciones totales y puntos de control. MPSA.

Radar de monitoreo geotécnico IBIS ArcSAR

El tajo Botija está siendo monitoreado actualmente por un radar de monitoreo geotécnico IBIS ArcSAR, ubicado en la pared norte (Figura 26). Este radar se utiliza para monitorear las paredes sur y este, donde los taludes han alcanzado una altura significativa. Para asegurar una cobertura total del tajo, se planificó a futuro, la adquisición de un radar adicional modelo SSRFX de GroundProbe.

El radar IBIS es capaz de recolectar, procesar y comunicar datos en tiempo casi real, con el mayor nivel de precisión. Es capaz de medir desplazamientos de múltiples escalas con una precisión de milímetros. La configuración actual está diseñada para tomar una lectura cada dos minutos, y las alarmas se configuran con base en el conjunto de datos de las últimas tres horas. El TARP del radar, proporciona detalles sobre las alarmas, sus umbrales y las acciones requeridas para cada nivel de alarma. Este TARP se actualiza cada vez que el radar se reubica a una nueva posición.

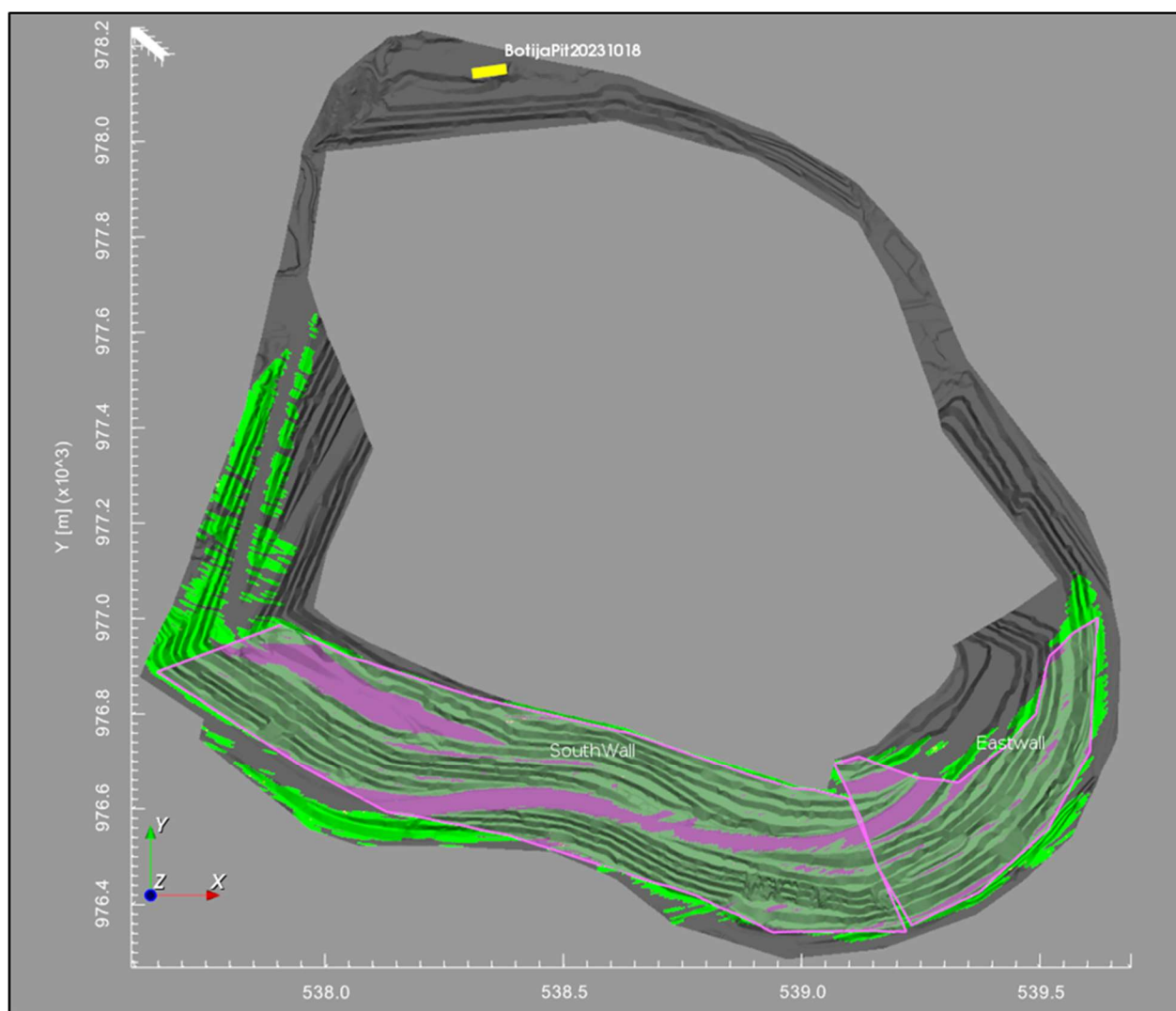


Figura 26. Localización y cobertura del radar de monitoreo geotécnico. MPSA.

Extensómetros de Estaca

El hundimiento del terreno y el desarrollo de grietas en áreas críticas como las crestas del tajo, rampas y acopios, representan riesgos significativos, por lo que es esencial monitorearlos de cerca. Para ello, se instalan extensómetros de estaca, que consisten en insertar firmemente dos estacas, hechas de varilla de acero o palos de madera, a ambos lados de las grietas en desarrollo. La distancia entre las estacas se mide regularmente, según la criticidad del área en relación con los riesgos que representa. Al analizar las mediciones, se pueden obtener valiosas ideas sobre el estado de desplazamiento del suelo, ya sea progresivo, regresivo o constante. Esta información permite implementar medidas de control adecuadas para mitigar los riesgos.

Actualmente, hay ocho extensómetros de estacas, en la pared sureste del tajo Botija, en la elevación 90m_RL (Figura 27). Estos extensómetros se están monitoreando activamente, ya que se han formado grietas abiertas y hundimiento a lo largo de características de fallas geológicas en la zona, desde julio de 2022. La historia del desplazamiento ha pasado de un estado progresivo a regresivo y actualmente está estable, permaneciendo en ese estado desde octubre de 2023.



Figura 27. Extensómetros de estaca, ubicados en la pared sureste del tajo Botija. MPSA.

7.2.1.3 Monitoreo y Optimización de Voladuras

Para asegurar que todas las áreas del tajo, no se vean afectadas por las voladuras, se realiza un monitoreo de desempeño de cada voladura cerca de una pared. Este proceso evalúa dos aspectos desde un punto de vista geotécnico: el daño a la masa rocosa y la vibración producida. El monitoreo ayuda a garantizar que las voladuras se realicen siguiendo los parámetros de diseño.

El monitoreo de la voladura, se hace utilizando cámaras de video para grabar la voladura. Los monitores de movimiento se colocan dentro de la voladura en ubicaciones conocidas y se utilizan para medir el movimiento de la voladura. El monitoreo de la vibración de las voladuras se realiza ocasionalmente en ubicaciones paralelas y perpendiculares a la voladura para evaluar la relación entre la vibración de la voladura y la respuesta (o daño) de la masa rocosa.

El análisis de fragmentación posterior a la voladura se realiza utilizando una cámara y un software diseñado para este propósito (FragTrack de Orica). Esta información se utiliza para determinar objetivamente la fragmentación lograda por la voladura.

Se debe mantener un registro de voladuras, incluyendo información de diseño, variaciones de diseño y desempeño de la voladura. Para cada voladura, se registra la siguiente información:

- El o los tipos de roca dentro del patrón de voladura.
- La presencia de cualquier característica estructural que pueda afectar los resultados de la voladura.
- Un mapa topográfico del patrón de voladura, mostrando la ubicación numerada de los agujeros, los retrasos, la secuencia de disparo y la ubicación de las caras libres.
- Datos para cada agujero, incluyendo la profundidad del agujero, nivel de agua, carga, aumento de la carga y longitud del relleno.
- Una fotografía de la cara, antes de la voladura.
- Un mapa topográfico de las grietas de retroceso o tensión generadas por la voladura.
- Comentarios sobre los resultados de la voladura, tales como posibles cortes, grado de fragmentación, dirección de lanzamiento.
- Una fotografía de la cara, posterior a la voladura, tomada desde la misma ubicación que la foto pre-voladura.

Una vez finalizado el minado, se elabora un informe post minado, correspondiente a la voladura. El material de este informe incluirá:

- Un mapa topográfico de las ubicaciones del pie y la cresta, en comparación con el diseño.
- Ángulos promedio y mínimos de las caras del banco, medidos a lo largo de una distancia regular a lo largo de toda la longitud de la voladura.
- Comentarios del operador sobre el desempeño de la voladura, incluyendo la condición durante la excavación, la necesidad de voladuras secundarias, las condiciones del piso, la presencia de “pies duros” (hard toes), las condiciones de las caras resultantes del banco, entre otros.

Para mejorar los parámetros de diseño y entender cómo los cambios en las condiciones del terreno afectan el desempeño de la voladura, es importante registrar y evaluar la información. Esto ayudará a identificar áreas donde los diseños de voladura son exitosos y áreas que requieren modificaciones. Al hacer modificaciones en los diseños de voladura, solo se debe cambiar un parámetro a la vez. Esto garantizará una evaluación precisa del impacto del cambio en el desempeño de la voladura. Los parámetros básicos como el patrón, la densidad de carga, el diámetro de los agujeros, los retrasos, secuencia de disparo, deben optimizarse primero. Una vez optimizados estos parámetros, se pueden intentar procedimientos más complejos o específicos como el apilamiento, pre-cortes dobles en bancos, entre otros.

7.2.1.4 Verificación de las Paredes del Tajo

La verificación de las paredes del tajo, es una actividad importante en el Monitoreo de Estabilidad, tanto para validar la seguridad de las condiciones de trabajo en el tajo, como para asegurar la estabilidad de las paredes del tajo. Después de cada avance en la secuencia de minado, una vez que el área de la voladura está despejada, se debe realizar una inspección para verificar las condiciones de las paredes del tajo.

De ser necesario, se pueden realizar inspecciones adicionales, en cualquier momento, en las paredes del tajo, con el fin de garantizar la seguridad o realizar una nueva evaluación.

Aunque el tajo debe ser monitoreado e inspeccionado en todo momento, cada pared final del tajo se inspecciona después de completar el perfilado. Para este propósito, se debe seguir un procedimiento de autorización, que consiste en una inspección regular durante el proceso de perfilado de la pared, verificando la estabilidad de la pared, indicar al equipo de Operaciones Mina requerimientos de remediaciones de cuñas, buscando acercarse a la geometría de diseño. El proceso de aprobación, se realiza mediante una verificación de cierre, con el Departamento de Topografía, Operaciones Mina y Geotécnica

8. COMUNICACIÓN Y CAPACITACIÓN

Se ha implementado un sistema de comunicación, para garantizar que la información sobre las condiciones del terreno, sean reportadas y se dé el debido seguimiento. El sistema de comunicación incluye:

- Mapa de Riesgos del Terreno.
- Capacitación.

Si las condiciones observadas requieren una acción inmediata, la comunicación se realiza por radio, por parte del Supervisor y se coloca una barricada física alrededor de la zona de riesgo, seguido de la inspección geotécnica.

8.1. Mapa de Riesgos Geotécnicos.

La gestión del riesgo geotécnico, se realiza con diferentes procedimientos y el programa de monitoreo en vigor. Se emite un Mapa de Riesgos Geotécnicos mensualmente, el cual es entregado a operaciones mina, para que los trabajadores en campo puedan consultarlo. El plan muestra los diferentes riesgos del terreno presentes en el tajo, como se ejemplifica en la Figura 28.

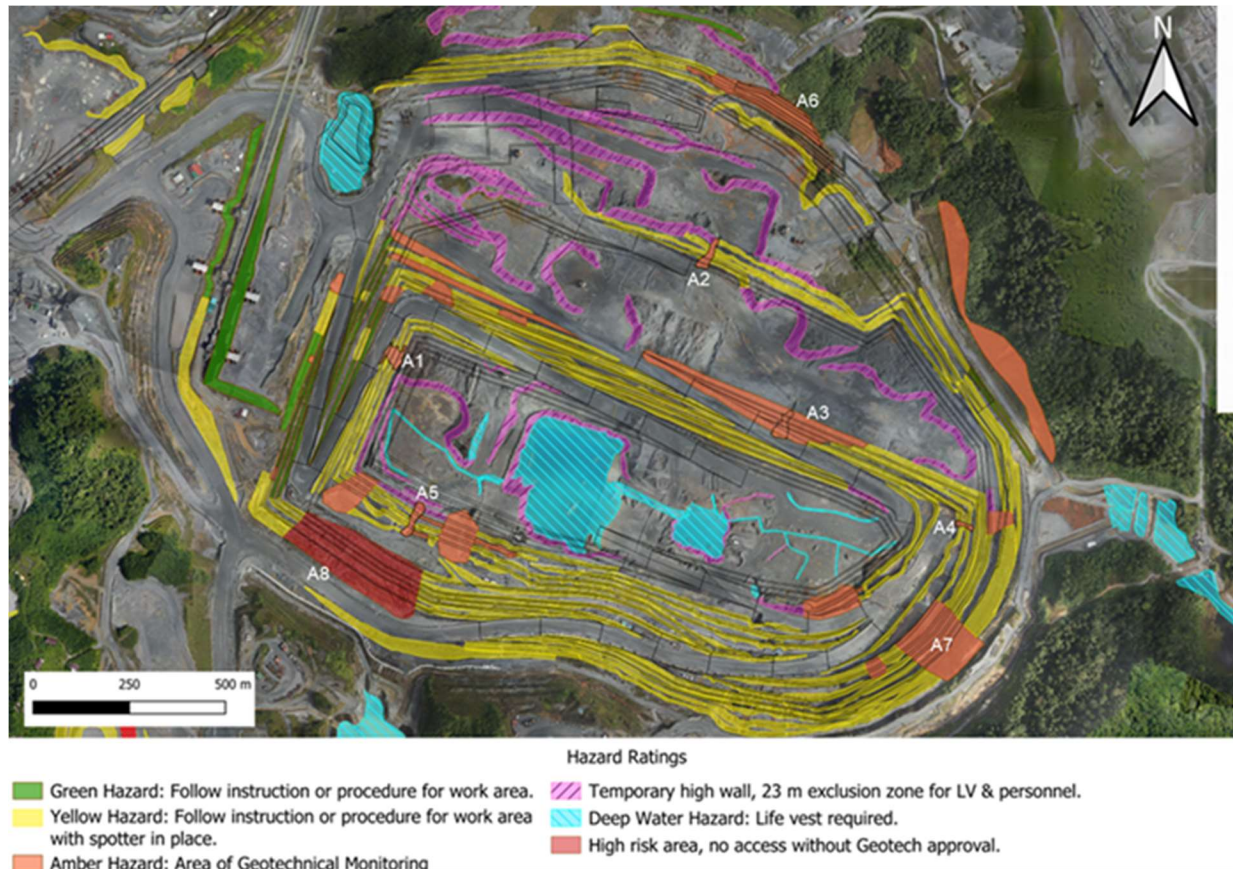


Figura 28. Mapa del Riesgos del Tajo Botija. MPSA.

8.2 Eventos Geotécnicos Inusuales

Después de cada evento geotécnico inusual, en el tajo o en el acopio de material estéril, se redactará un memorándum explicando la razón por la cual ocurrió el evento, cómo se puede evitar en el futuro y si la zona es segura para el trabajo. Si el ingeniero geotécnico en sitio, no puede evaluar la causa del evento, se contratará una firma consultora para que lo evalúe.

8.3 Capacitación de la Fuerza Laboral

La capacitación sobre procedimientos de trabajo seguro, es proporcionada a cada nuevo colaborador, que debe trabajar en el tajo, por un supervisor senior de FQML. Además, cada nuevo colaborador, debe seguir diferentes tipos de capacitación relacionada con la geotecnia. Existen dos niveles de capacitación geotécnica:

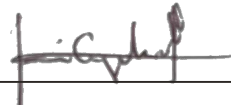
- Nivel 1. Capacitación en Conciencia Geotécnica: debe ser tomada por todos aquellos que trabajen en el sitio y eventualmente accedan a estructuras geotécnicas o sus adyacencias, como el tajo a cielo abierto, caminos de acarreo del tajo y acopios de material.
- Nivel 2. Capacitación Geotécnica Avanzada: debe ser tomada por cualquier persona directamente involucrada en el trabajo de campo geotécnico.

9. APROBACIÓN

El Plan de Monitoreo de Estabilidad de Suelos, ha sido revisado y aprobado por:



Gerente de Sitio



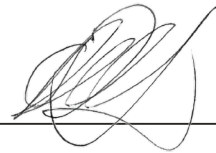
Jefe de Planificación de Mina



07.07.2025
Gerente de Operaciones Mina



20.06.2025
Superintendente Geotécnico



Gerente de Servicios Técnicos de Mina



Jul 18, 2025
Ingeniero Geotécnico Senior

10. REFERENCIAS

Guías para el Diseño de Taludes en Tajos a Cielo Abierto. Jhon Read y Peter Stacey. 2009. “Guidelines for Open pit Slope Design”.

Diseño de Ingeniería de Mina de Cobre 2008/2009. Investigación de Datos Geotécnicos de Sitio y Reporte de Interpretación. 2009. AMEC. “Mina de Cobre Front End Engineering Design 2008/2009 Geotechnical Site Investigation Data and Interpretation Report Panamá”.

Geomecánica de Tajo a Cielo Abierto, Proyecto Mina de Cobre Panamá S.A. 2010. AMEC. “Open Pit Geomechanics Mina de Cobre Project Panamá, S.A.”

Estudio Geotécnico de ángulo de Taludes Para la Propuesta de Tajo a Cielo Abierto Botija. 2012. Call & Nicholas, INC. “Geotechnical Slope Angle Study for the Proposed Botija Open-Pit Mine.

Cobre Panamá – Minera Panamá S.A. Evaluación Numérica (FLAC3D) de la esquina Sureste y lado Este del Tajo Botija. 2023. Piteau Associates. “Cobre Panamá- Minera Panamá S.A. Numerical Evaluation (FLAC3D) of the Southwest Corner and East Side of Botija Pit”.

Estudio Estructural y Modelamiento en 3-D, para la Mina Cobre Panamá. 2023 SRK Consultores. Structural Study and 3-D Modelling for Cobre Mine, Panama.

Estudio de estabilidad de la pared SW del tajo Botija Minera Panamá. 2024. DCR Consultores.

Depósitos de Pórfido Cuprífero en El Salvador, Chile. 1975. Lewis B. Gustafson; John P. Hunt. “The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile”.